

Tema 3. Diodos de unión

Introducción

Diodos en estática

Modelos aproximados en cuasi-estática y gran señal

Modelo aproximado en cuasi-estática y pequeña señal

Diodos en dinámica

Otros diodos

Material de apoyo para el grupo 14.2 de INEL

Rebeca Herrero

rebeca.herrero@ies-def.upm.es

IES-ETSIT, UPM, Curso 2013-2014



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tema 3. Diodos de unión

OBJETIVOS

- 1. La construcción, funcionamiento y principales aplicaciones del diodo de unión p-n, así como los principales modelos que se usan para describir su comportamiento
- 2. Diferencia entre los modos de funcionamiento en estática y dinámica, entre gran señal y pequeña señal
- 3. Aplicaciones sencillas que utilizan circuitos con diodos, fuentes de alimentación y resistencias, seleccionando para ello el modelo más adecuado y haciendo uso del método analítico (planteamiento de ecuaciones, resolución y verificación de hipótesis)
- 4. Clasificación de los diferentes tipos de diodos según sus funciones

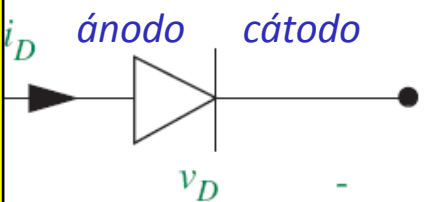


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos

INTRODUCCIÓN

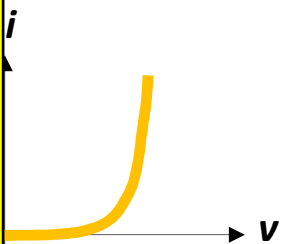
Dispositivo de comportamiento no lineal:
 permite el paso de corriente en un sentido y la bloquea en sentido contrario



$$i_D = I_S \left(e^{v_D(t)/V_T} - 1 \right) + C_D(v_D) \frac{dv_D}{dt}$$

- $I_S = I_S(T)$, corriente inversa de saturación
 $10^{-12} - 10^{-15} \text{ A (Si)}$
- $V_T = kT/e$, voltaje térmico, 25 mV ($T_0=290^\circ\text{K}$)
- Componente pasivo no lineal
- Dependencia explícita de d/dt:

$$\text{Si } \left| C(v) \frac{dv}{dt} \right| \ll |A(e^{Bv} - 1)| \rightarrow i \cong A(e^{Bv} - 1)$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

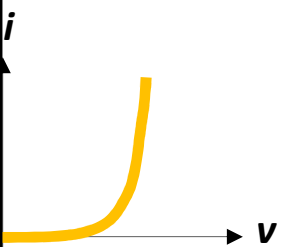
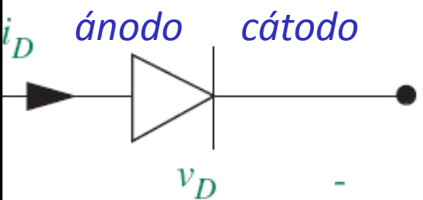
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diodos

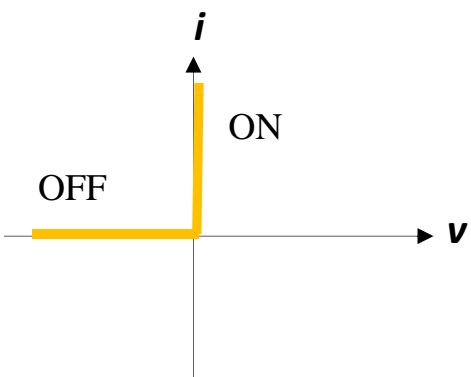
INTRODUCCIÓN

Dispositivo de comportamiento no lineal:
deja pasar corriente en un sentido y la bloquea en sentido contrario

$$i_D = I_S (e^{v_D(t)/V_T} - 1) + C_D (v_D) \frac{dv_D}{dt}$$



aproximación



¡Similar a un interruptor!

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
...
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos

INTRODUCCIÓN

El **modo de funcionamiento** del diodo se clasifica según **dos criterios**:

Importancia de los fenómenos capacitivos

Situación **cuasi-estática***

Situación **dinámica**

Tensión y corriente del dispositivo

Pequeña señal

Gran señal

estática



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos

INTRODUCCIÓN

importancia de los fenómenos capacitivos

Situación **cuasi-estática**

$$C_D(v_D(t)) \frac{dv_D(t)}{dt} \ll |I_S(e^{v_D(t)/V_T} - 1)| \rightarrow i_D \approx I_S(e^{v_D(t)/V_T} - 1)$$

Caso particular: **DC (estática)**:

$$v_D(t) = V_D, \quad i_D(t) = I_D, \quad \frac{dv_D(t)}{dt} = 0$$

$$I_D = I_S(e^{V_D/V_T} - 1)$$

Ecuación de Shockley

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

...

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diodos

INTRODUCCIÓN

importancia de los
fenómenos capacitivos

Situación **dinámica**

$$C_D(v_D(t)) \frac{dv_D(t)}{dt} \sim I_S (e^{v_D(t)/V_T} - 1)$$

- Se mantienen las **dependencias temporales**
- Efectos capacitivos **no despreciables**

The logo for Cartagena99, featuring the word 'Cartagena99' in a stylized, green, cursive font. The text is set against a background of a light blue map of Colombia, with an orange and yellow arrow-like shape pointing downwards from the top left.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

...

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos

INTRODUCCIÓN

tensión y corriente del dispositivo

Pequeña señal

Se verifica que $i_d(t)$ y $v_d(t)$ son pequeños.

$$v_D(t) = V_D + v_d(t), \quad i_D(t) = I_D + i_d(t)$$

Se puede **aproximar** el diodo por un **dispositivo lineal**

The logo for Cartagena99, featuring the word "Cartagena99" in a stylized, green, cursive font. The text is set against a background of a light blue and orange gradient that resembles a stylized map or a flame.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos

INTRODUCCIÓN

tensión y corriente del dispositivo

Gran señal

$i_d(t)$ y $v_d(t)$ no son pequeños.

No se puede aproximar el diodo por un dispositivo lineal

The logo for Cartagena99 features the word "Cartagena99" in a stylized, green, cursive font. The text is set against a light blue background that resembles a map of the city of Cartagena. A yellow and orange arrow-like shape points upwards from the bottom left towards the text.

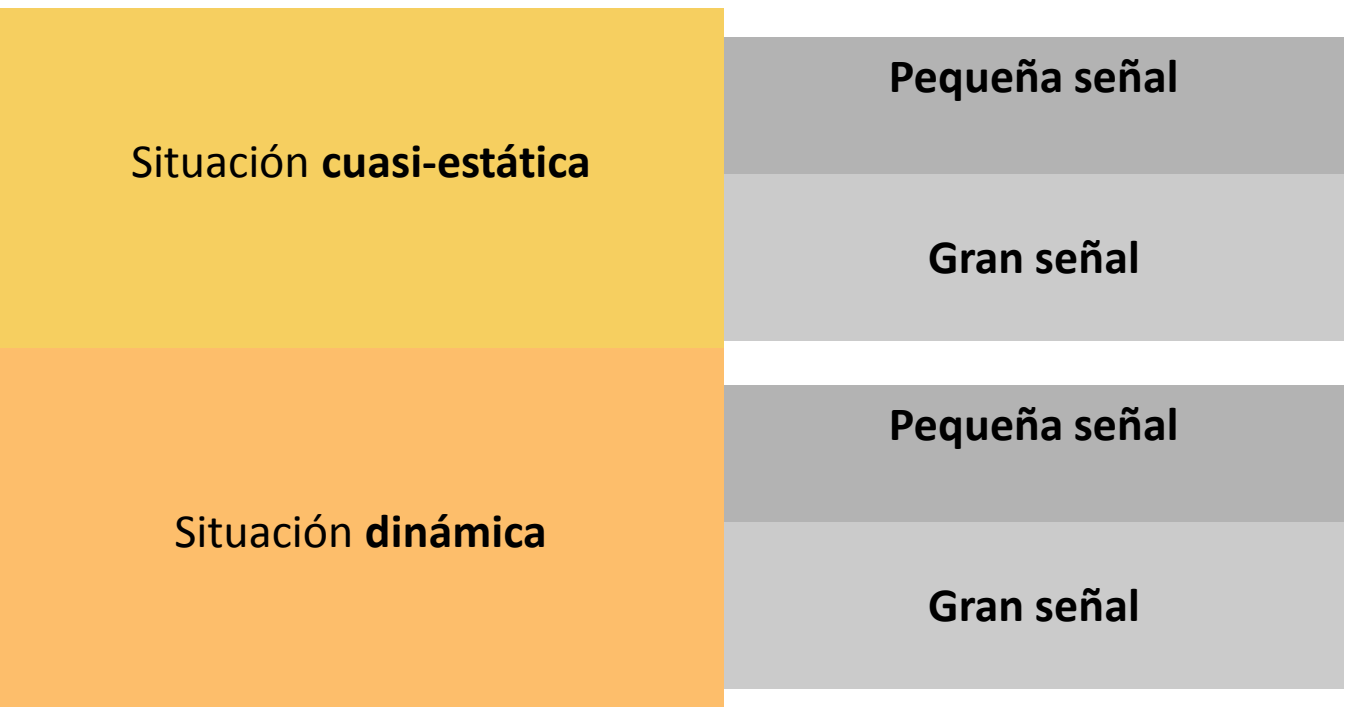
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
-- --

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos

INTRODUCCIÓN

o puede funcionar en:



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Diodos

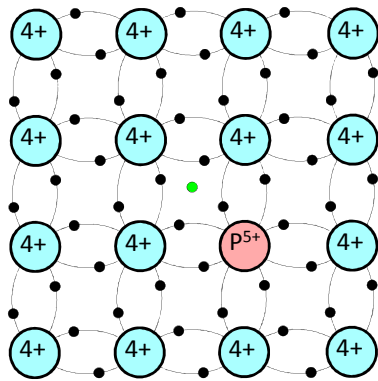
INTRODUCCIÓN

¿cómo se fabrican los diodos?

a unión de **semiconductores** con distinto tipo de portadores de carga:

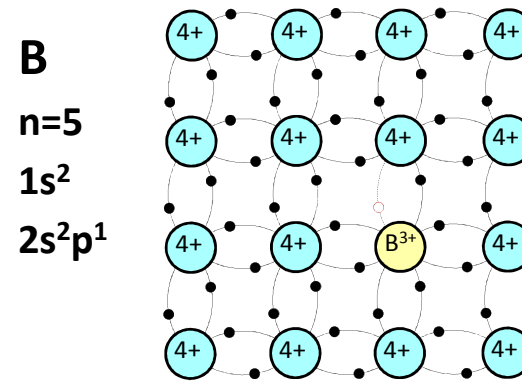
tipo *p*

En Si, impurezas grupo V
(P, As, Sb, ...)



Concentración de impurezas donantes: N_D

En Si, impurezas grupo III
(B, Al, Ga, ...)



Concentración de impurezasceptoras: N_A

$$n + N_A = N_D + p$$

ECUACIÓN DE NEUTRALIDAD DE CARGA

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

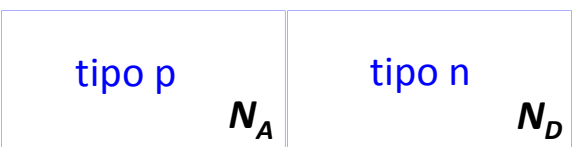
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diodos

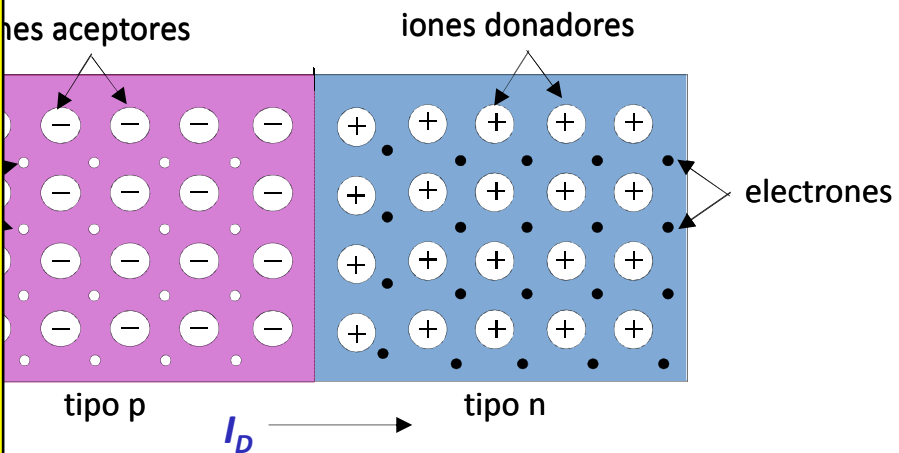
INTRODUCCIÓN

¿Cómo se fabrican los diodos?

Se realiza a partir de la unión de semiconductores con distinto tipo de portadores de carga:



✓ Difusión de mayoritarios I_D



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

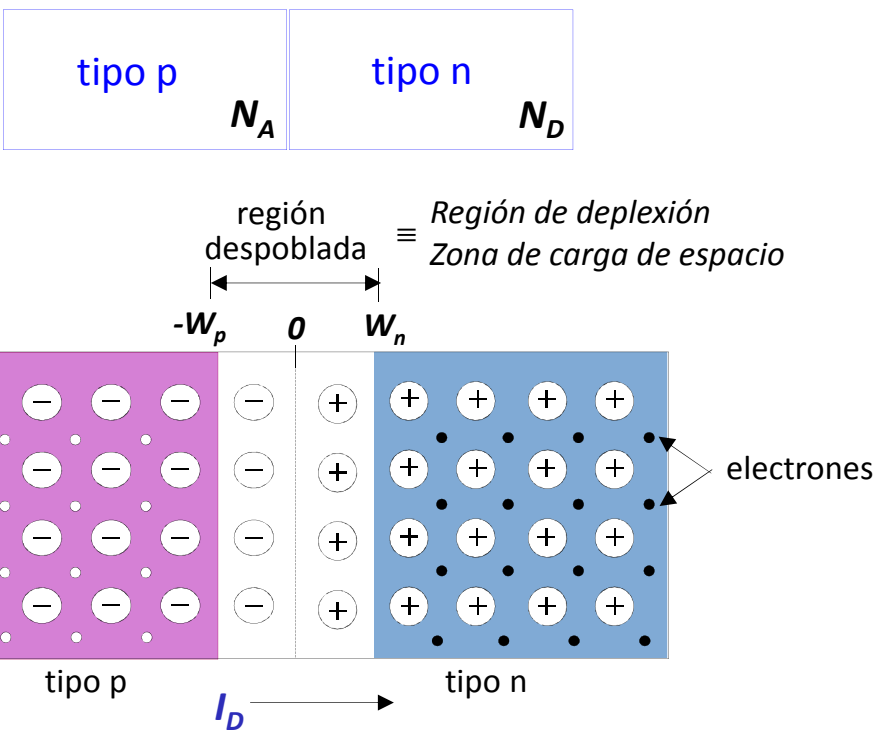


Diodos

INTRODUCCIÓN

¿Cómo funcionan los diodos?

Se forma a la unión de semiconductores con distinto tipo de portadores de carga:



- ✓ Difusi3n de mayoritarios I_D
- ✓ Regi3n des poblada de electrones libres y huecos

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS T3CNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

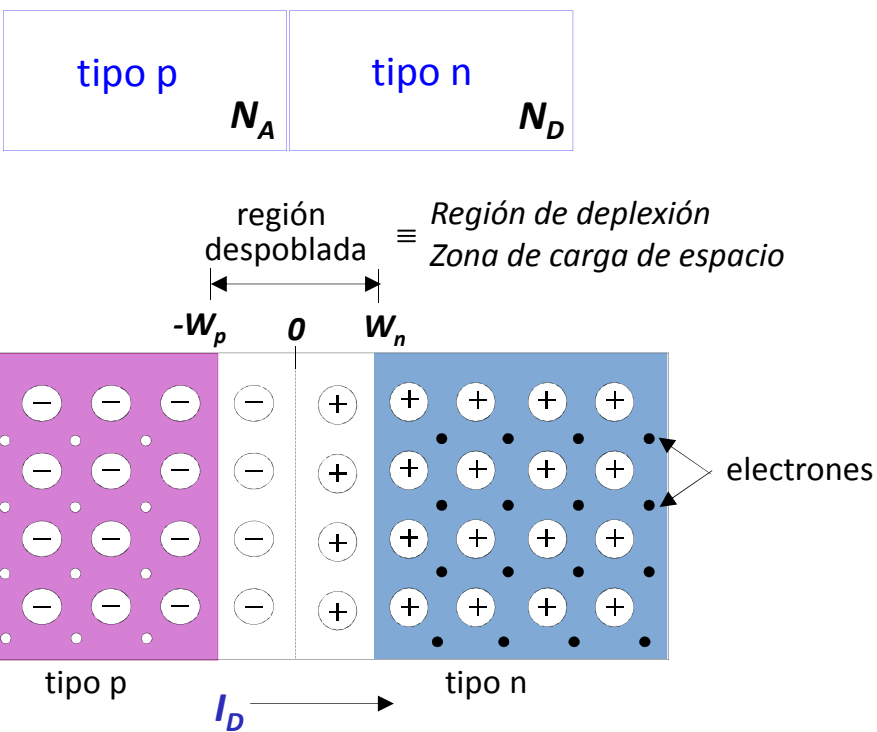
Cartagena99

Diodos

INTRODUCCIÓN

¿Cómo funcionan los diodos?

Se forma a la unión de semiconductores con distinto tipo de portadores de carga:



- ✓ Difusi3n de mayoritarios I_D
- ✓ Regi3n des poblada de electrones libres y huecos

Dipolo de cargas fijas por las impurezas ionizadas:

ZONA DE CARGA ESPACIAL

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

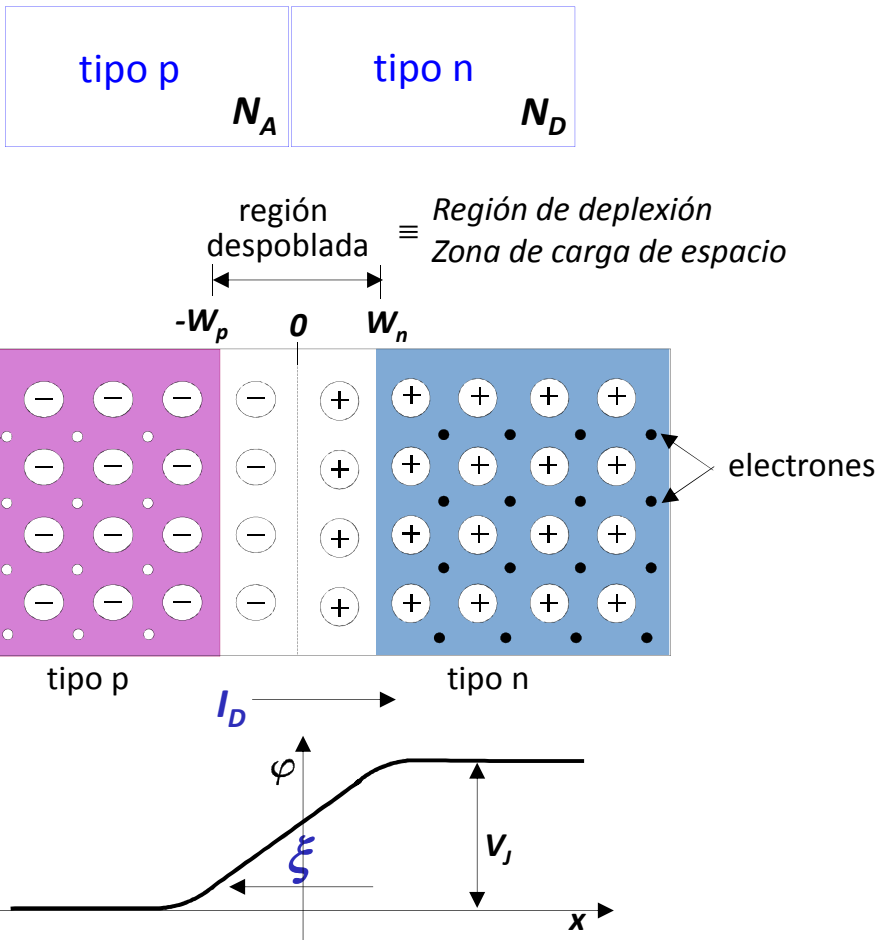


Diodos

INTRODUCCIÓN

¿Cómo se fabrican los diodos?

se fabrican a partir de la unión de semiconductores con distinto tipo de portadores de carga:



- ✓ **Difusión de mayoritarios I_D**
- ✓ **Región despoblada de electrones libres y huecos**
Dipolo de cargas fijas por las impurezas ionizadas:
ZONA DE CARGA ESPACIAL
- ✓ **El dipolo produce campo eléctrico ξ**
- ✓ **Barrera de potencial V_j que se opone a la difusión de portadores**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

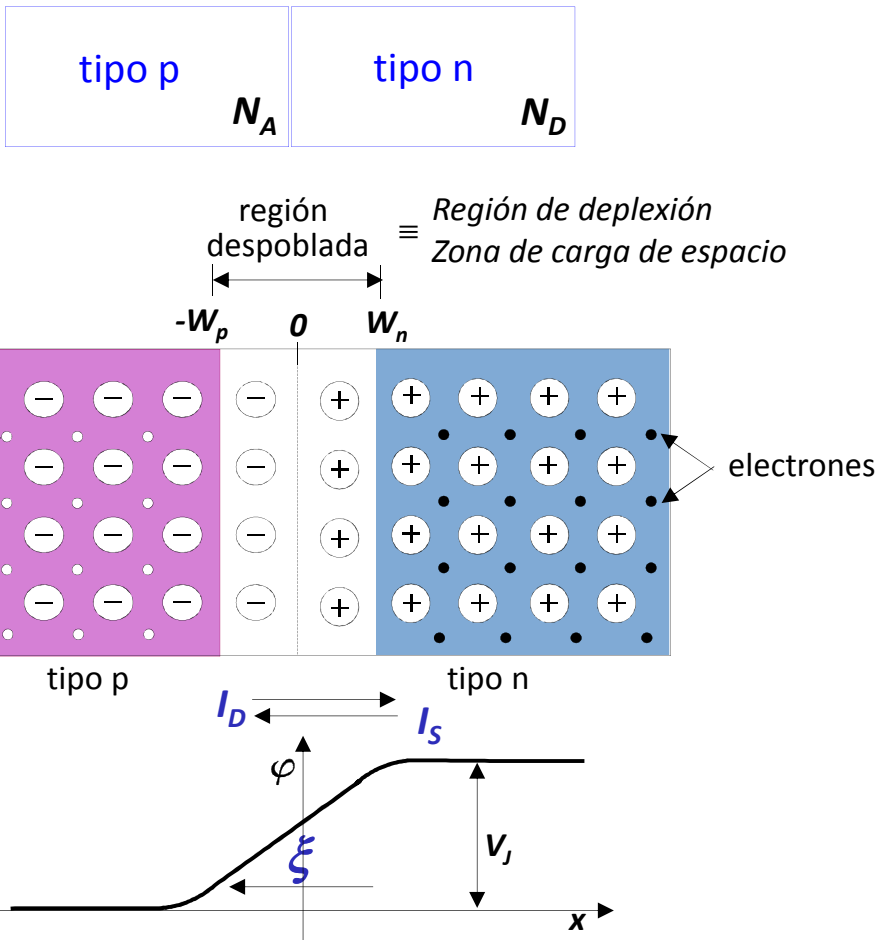
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diodos

INTRODUCCIÓN

¿Cómo funcionan los diodos?

se forman a la unión de semiconductores con distinto tipo de portadores de carga:



- ✓ **Difusión de mayoritarios I_D**
- ✓ **Región despoblada de electrones libres y huecos**
Dipolo de cargas fijas por las impurezas ionizadas:
ZONA DE CARGA ESPACIAL
- ✓ **El dipolo produce campo eléctrico ξ**
- ✓ **Barrera de potencial V_j que se opone a la difusión de portadores**
- ✓ **Arrastre de minoritarios I_S**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diodos

INTRODUCCIÓN

¿Qué son los diodos?

La **energía eléctrica interna** y la **barrera de potencial asociada** son el **fundamento**.

La **corriente de difusión I_D** es fuertemente dependiente de la **barrera de potencial**

La **corriente de arrastre I_S** es fuertemente dependiente de la **temperatura**

La **relación** entre estas corrientes con el voltaje del dispositivo se verá en el siguiente apartado:

Característica

$$V_0 = V_T \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}$$

Voltaje de barrera

Concentración intrínseca

Concentración relativa

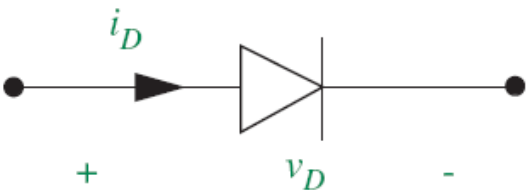
$$w_{dep} = w_p + w_n = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{e} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) V_{J0}}$$

Anchura de ZCE

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diodos en estática



Importancia de los
efectos capacitivos

Relación **cuasi-estática**

$$i_D(t) \left| \frac{dv_D(t)}{dt} \right| \ll |I_S(e^{v_D(t)/V_T} - 1)| \rightarrow i_D \approx I_S(e^{v_D(t)/V_T} - 1)$$

Particular: **DC (estática)**:

$$v_D = V_D, \quad i_D(t) = I_D, \quad \frac{dv_D(t)}{dt} = 0$$

$$I_D = I_S(e^{V_D/V_T} - 1) \quad \text{Ecuación de Shockley}$$

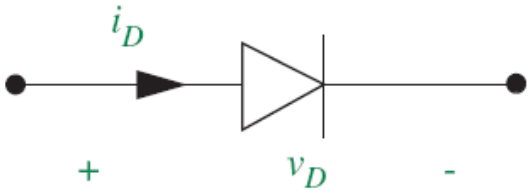
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos en estática

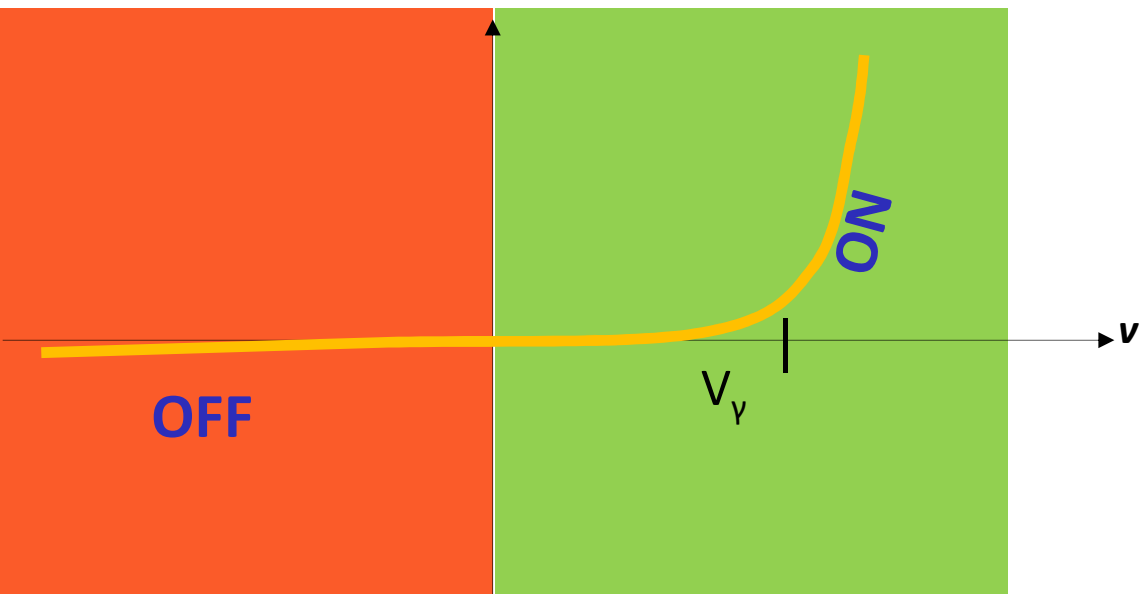
Ecuación de Shockley

$$I_D = I_S (e^{V_D/V_T} - 1)$$



$v_D \leq 0$, Polarización inversa

$v_D \geq 0$, Polarización directa



Estados del diodo:

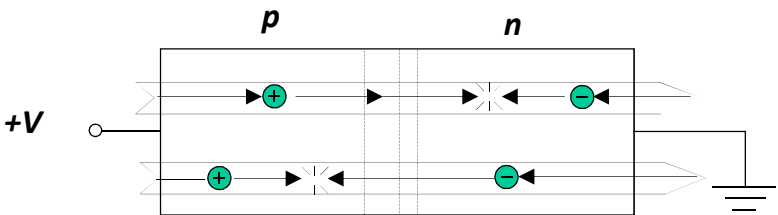
- ON (conducción): $v_D > V_\gamma$
- OFF (corte): $v_D < V_\gamma$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

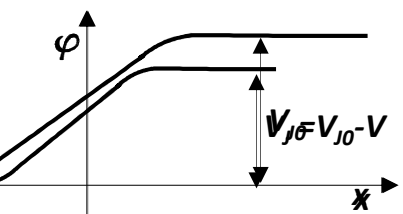
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos en estática



en directa

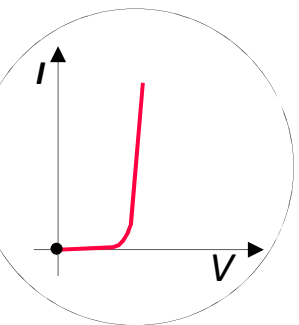
ón aplicada se invierte en disminuir la barrera de tensión en la unión



Disminución de la barrera ⇒ Huecos de la zona p se inyectan en la zona n y electrones de la zona n en la zona p ⇒ INYECCIÓN DE MAYORITARIOS

$$\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (V_{J0} - V) \downarrow$$

Esta inyección de portadores **disminuye la anchura de la zona de deplexión**



Difunden ahora como minoritarios, recombinándose a medida que avanzan ⇒ **Predomina corriente de difusión ($I_D > I_S$)**, fuertemente dependiente del voltaje

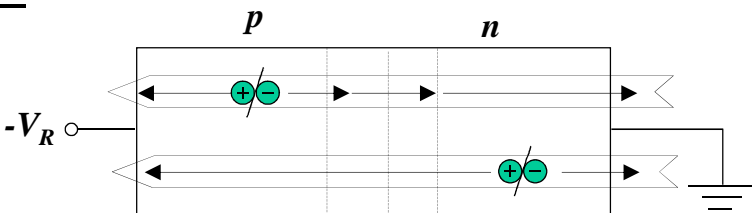


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

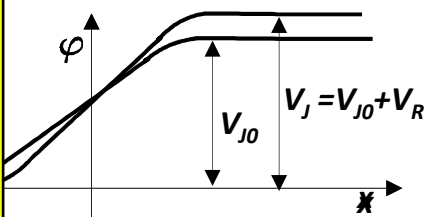
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diodos en estática

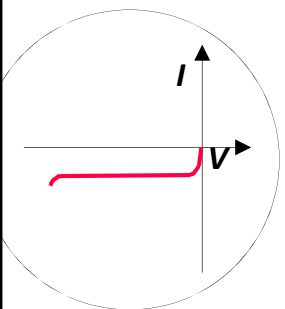
en inversa



Al aplicar una tensión aplicada se invierte en aumentar la barrera de tensión en la unión



$$\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (V_{J0} + V_R) \uparrow$$



Aumento de la barrera \Rightarrow Electrones de la zona p se inyectan en la zona n y huecos de la zona n en la zona p \Rightarrow INYECCIÓN DE MINORITARIOS

Esta inyección de portadores deja más iones descubiertos, **aumentando la anchura de la zona de deplexión**

Predomina corriente de arrastre ($I_S > I_D$) \Rightarrow Al inyectar portadores de los que hay pocos en sus zonas de origen, corrientes muy débiles

Cartagena99

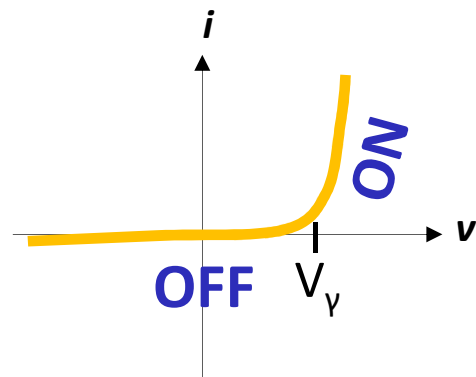
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diodos en estática

le la ecuación de Shockley con la temperatura:

$$i_D = I_S(T) \left(e^{v_D/V_T(T)} - 1 \right)$$



dos parámetros:

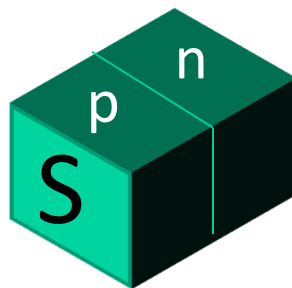
$$I_S(T) = B \times S \times n_i^2(T)$$

B = constante

S = sección del dispositivo

$n_i(T)$ = concentración intrínseca

$$V_T = \frac{kT}{e}$$



Estados del diodo: $\left\{ \begin{array}{l} \text{ON (conducción): } v_D > V_y \\ \text{OFF (corte): } v_D < V_y \end{array} \right.$

afecta al valor de la tensión de codo V_y

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diodos en estática

Relación de la ecuación de Shockley con la temperatura:

Parámetro:

$$V_{\gamma}(\text{Si}) = 0,5-0,7 \text{ V}$$

$$V_{\gamma}(\text{GaAs}) = 1,2 \text{ V}$$

$$V_{\gamma}(\text{Ge}) = 0,3 \text{ V}$$

Relación de la ecuación de Shockley con la temperatura:

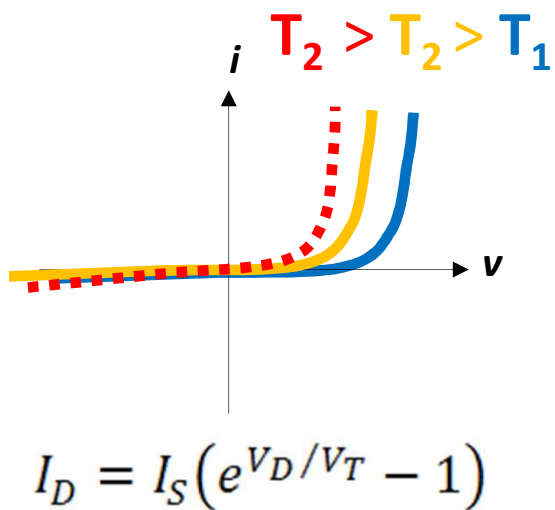
V_{γ} : aumenta al aumentar T

I_S : disminuye al aumentar T

Respecto a la variación de V_{γ} , a corriente constante, con la temperatura no es lineal, se suele tomar:

$$\frac{\Delta V_{\gamma}}{\Delta T} = -K$$

Donde K es el coeficiente de temperatura, $K \approx 2 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diodos en estática

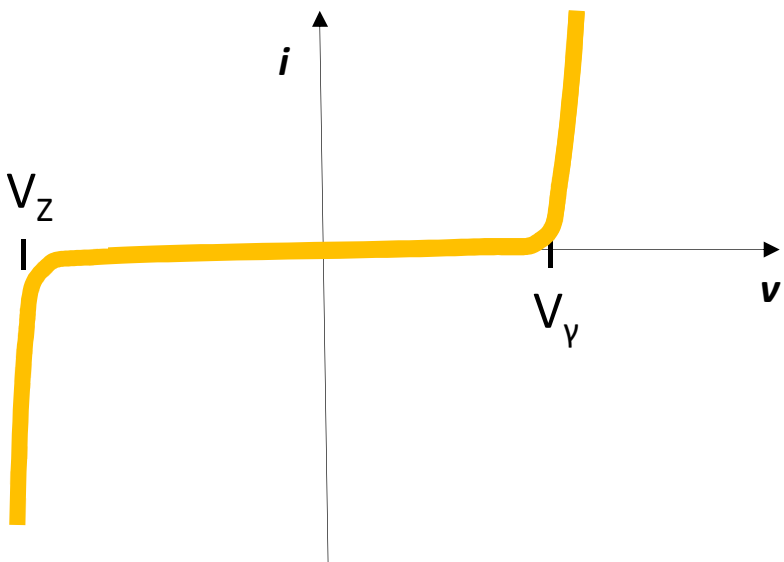
iones de la ecuación de Shockley:

Factor de idealidad n distinto de 1

$$i_D = I_S(T) \left(e^{v_D/nV_T(T)} - 1 \right)$$

$n = n(T, V)$, aunque en la práctica es cte, típicamente entre 1 y 2.

Disrupción de la unión para polarización inversa elevada ($V < -V_Z$):



La corriente inversa **crece rápidamente** para incrementos de tensión muy pequeños

Se distinguen **dos** mecanismos de ruptura: **Zener** y **avalancha**

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos en estática

iones de la ecuación de Shockley:

Factor de idealidad n distinto de 1

$$i_D = I_S(T) \left(e^{v_D/nV_T(T)} - 1 \right)$$

$n = n(T, V)$, aunque en la práctica es cte, típicamente entre 1 y 2.

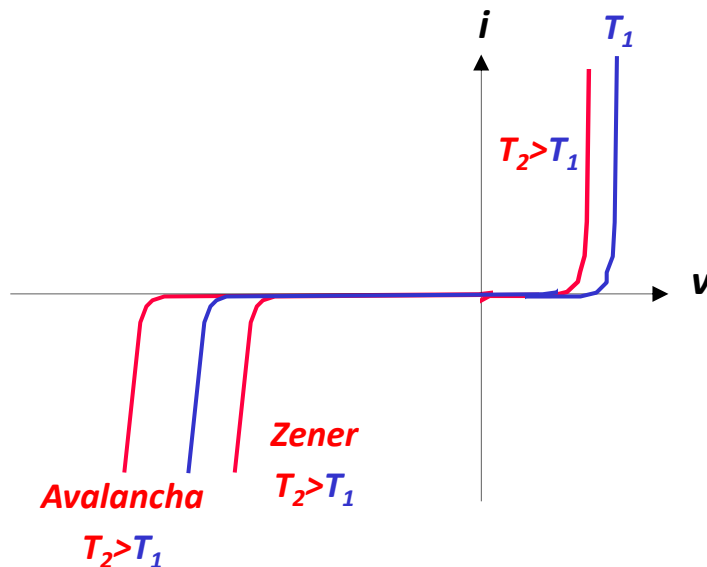
Disrupción de la unión para polarización inversa elevada ($V < -V_Z$):

V_Z varía con la temperatura:

Aumenta al aumentar T para el mecanismo de **Avalancha**

Disminuye al aumentar T para el mecanismo **Zener**

silicio, $\Delta |V_Z| \approx 2 \text{ mV/}^\circ\text{C}$

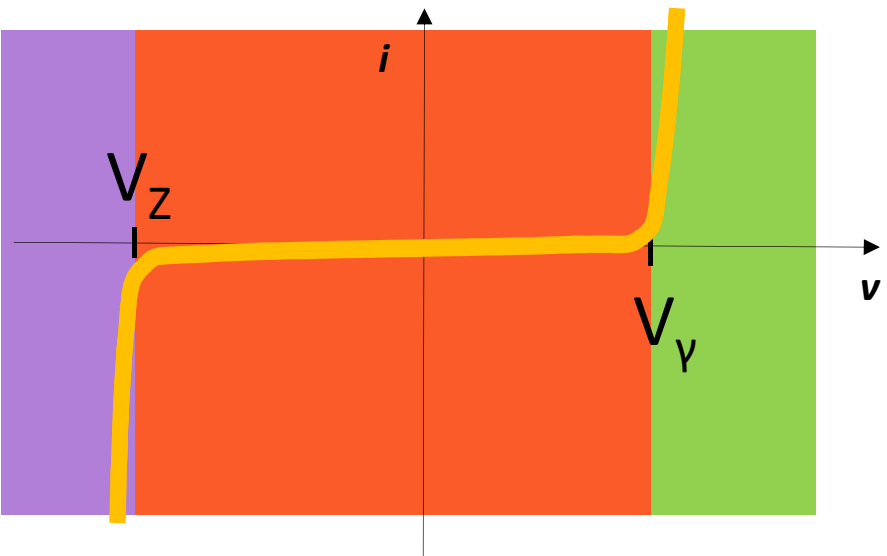


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diodos en estática

de funcionamiento:



$v > V_\gamma \rightarrow$ **DIRECTA**

ON, en conducción

$v < V_\gamma \rightarrow$ **INVERSA**

OFF, en corte

$v < -V_Z \rightarrow$ **DISRUPCIÓN**

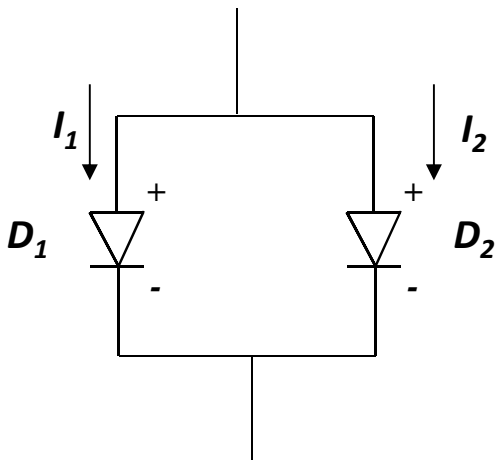
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

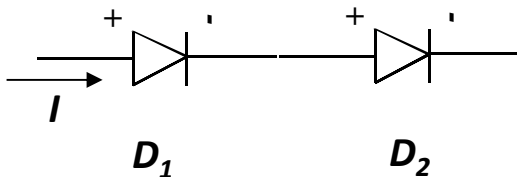
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos en estática

circuito de la figura, obtenga la relación entre I_1 e I_2 sabiendo que los valores de corriente inversa de saturación de los diodos valen $I_{S1} = 4 \text{ nA}$ e $I_{S2} = 1 \text{ nA}$ y que $V_T = 25 \text{ mV}$



circuito de la figura, obtenga la relación entre V_1 y V_2 para polarización directa sabiendo que los valores de corriente inversa de saturación de los diodos valen $I_{S1} = 4 \text{ nA}$ e $I_{S2} = 1 \text{ nA}$ y que $V_T = 25 \text{ mV}$ (suponiendo V_1 y $V_2 > 3 V_T$)



obtener las características I-V para las combinaciones de diodos de los ejercicios 1 y 2.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

RESUMEN DEL APTO. 3.2

ente, el diodo deja pasar corriente cuando se polariza en sentido
e impide el paso de corriente en sentido contrario.

La $i-v$ del diodo se deriva de las propiedades físicas de la unión p-n.

La ecuación de Shockley caracteriza el comportamiento del diodo en las
regiones de directa (tensión prácticamente constante a partir de un cierto
valor) e inversa (corriente prácticamente nula).

En directa se inyectan portadores mayoritarios (en su zona de origen),
los cuales se difunden como minoritarios al otro lado de la unión, dando lugar a
corrientes fuertemente dependientes del voltaje aplicado.

En inversa se inyectan portadores minoritarios (en su zona de origen),
lo que da lugar a corrientes de arrastre muy débiles.

Al aplicar una determinada tensión negativa, el diodo entra en
polarización inversa, permitiendo el paso de corriente de cátodo a ánodo.

La tensión de ruptura marca el límite a partir de la cual fenómenos de
avalancha o Zener producen corrientes negativas grandes con
pequeños cambios de tensión.

Al aumentar la temperatura de trabajo, la curva característica del diodo se
desplaza hacia la izquierda.

The logo for Cartagena99 features the word "Cartagena99" in a stylized, green, cursive font. The text is positioned above a graphic element consisting of a blue and orange shape that resembles a stylized '9' or a drop.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y gran señal

o hablando de componentes que la presencia de elementos no lineales no obtener soluciones analíticas en la resolución de circuitos

rcuito de la figura,

I sistema de ecuaciones I-V,

e la solución gráfica usando la ecuación característica

uméricamente el sistema del apartado a)

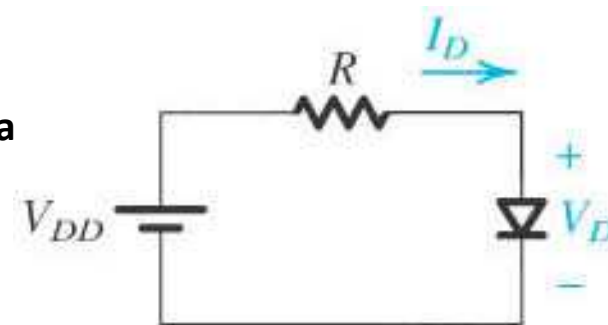
0V R=1KΩ

trascendente:

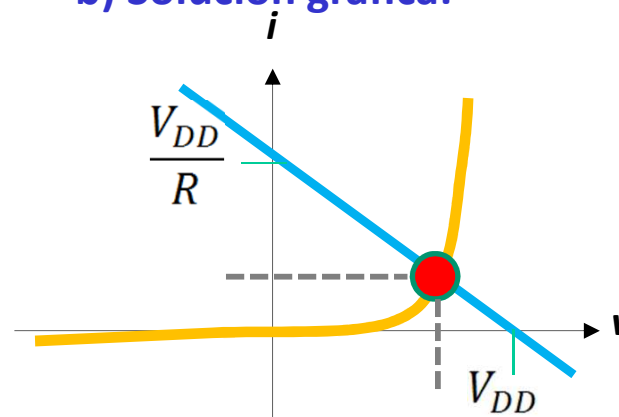
$$V_D = R I_S \left[\exp\left(\frac{V_D}{V_T}\right) - 1 \right] + V_D$$

por iteración

e Shockley: apropiada para modelar el diodo en directa e inversa, pero sa y poco práctica para análisis de circuitos



b) Solución gráfica:



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

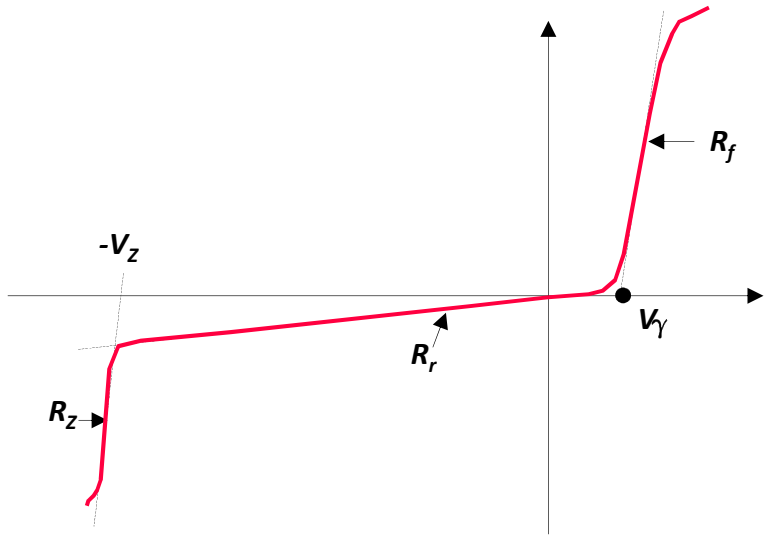
Modelos en cuasi-estática y gran señal

plejos: necesidad de un análisis rápido

os aproximados por tramos lineales:

lificación del análisis
 nce precisión-complejidad

Ejemplo: aproximación por tres resistencias

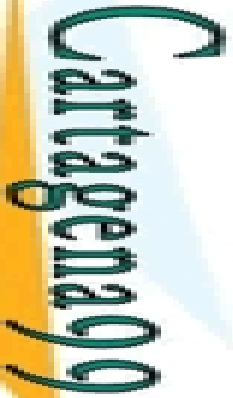
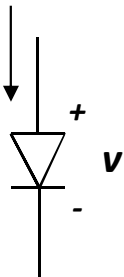


para diodos trabajando en cuasi-estática y gran señal

Gran señal \longrightarrow $i_D(t)$ y $v_D(t)$ no son pequeños.

remos cinco modelos lineales por tramos:

- Modelo 1** – Diodo ideal
- Modelo 2** – Tensión de codo
- Modelo 3** – Tensión de codo y resistencia directa
- Modelo 4** – Tensión de codo y interrupción
- Modelo 5** – Tensión de codo y resistencias directa y interrupción



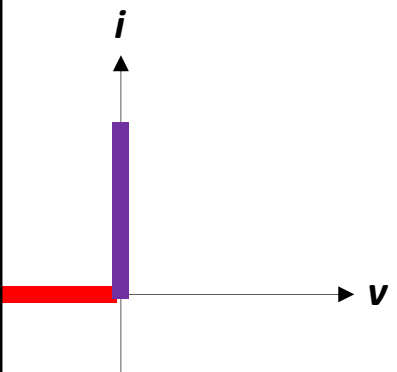
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y gran señal



1: DIODO IDEAL

Región	Condición	Ecuación	Circuito equivalente
INVERSA	$v < 0$	$i = 0$	
DIRECTA	$i > 0$	$v = 0$	



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

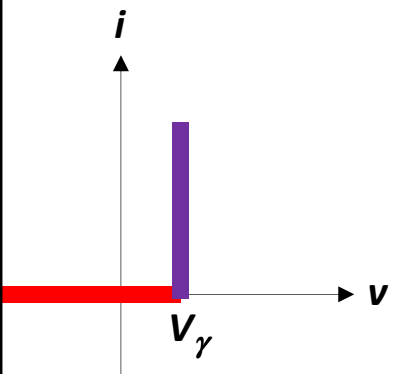
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y gran señal



2: TENSIÓN DE CODO

Región	Condición	Ecuación	Circuito equivalente
INVERSA	$v < V_\gamma$	$i = 0$	
DIRECTA	$i > 0$	$v = V_\gamma$	

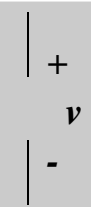
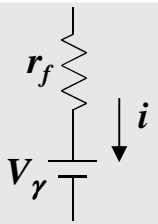


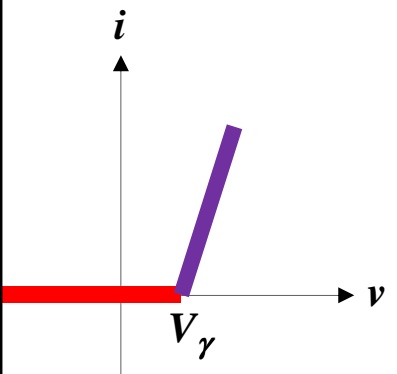
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y gran señal

3: TENSIÓN DE CODO Y RESISTENCIA DIRECTA

Región	Condición	Ecuación	Circuito equivalente
INVERSA	$v < V_\gamma$	$i = 0$	
DIRECTA	$i > 0$ $v > V_\gamma$	$v = r_f i + V_\gamma$	



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

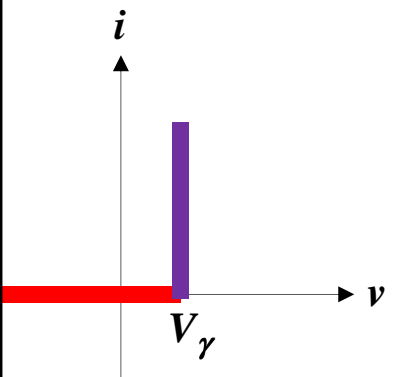


Modelos en cuasi-estática y gran señal



4: TENSIÓN DE CODO Y DISRUPCIÓN

Región	Condición	Ecuación	Circuito equivalente
DISRUP.	$i < 0$	$v = -V_Z$	
INVERSA	$-V_Z < v < V_\gamma$	$i = 0$	
DIRECTA	$i > 0$	$v = V_\gamma$	

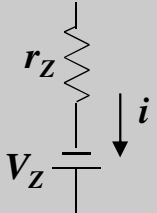
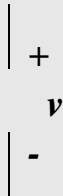
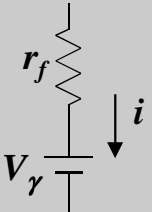


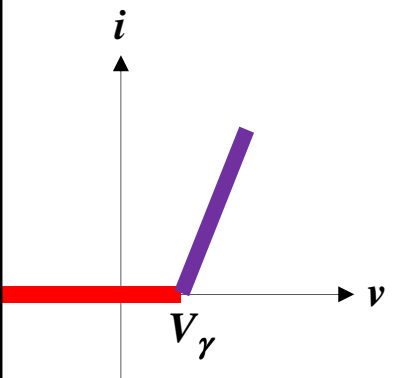
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y gran señal

5: TENSIÓN DE CODO Y RESISTENCIAS DIRECTA Y ZENER

Región	Condición	Ecuación	Circuito equivalente
DISRUP.	$i < 0$ $v < -V_z$	$v = -V_z + r_z i$	
INVERSA	$-V_z < v < V_\gamma$	$i = 0$	
DIRECTA	$i > 0$ $v > V_\gamma$	$v = r_f i + V_\gamma$	



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Modelos en cuasi-estática y gran señal

ANÁLISIS DE CIRCUITOS EN ESTÁTICA

Plantear hipótesis sobre la región de funcionamiento en que se encuentran los diodos

Plantear modelo aproximado y sustituir diodos por sus circuitos equivalentes

Calcular corrientes y tensiones mediante análisis de circuitos

Probar la validez de las hipótesis, verificando el cumplimiento de las condiciones

- Si **no hay contradicción**, planteamiento correcto
- Si **hay contradicción**, replantear a partir de otra hipótesis



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y gran señal

ANÁLISIS DE CIRCUITOS EN ESTÁTICA

Modelos de **tres estados** suele ser recomendable:

Hipótesis falsa	Nueva hipótesis
OFF , $v_D < v_\gamma$	ON , $i_D > 0$
OFF , $-v_Z < v_D$	DISRUPCIÓN
ON	cualquiera
DISRUPCIÓN	cualquiera

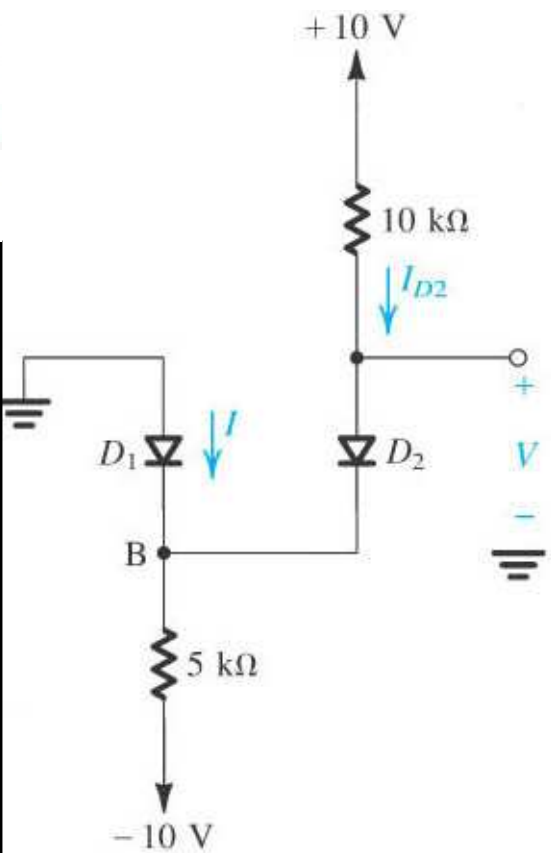
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

...

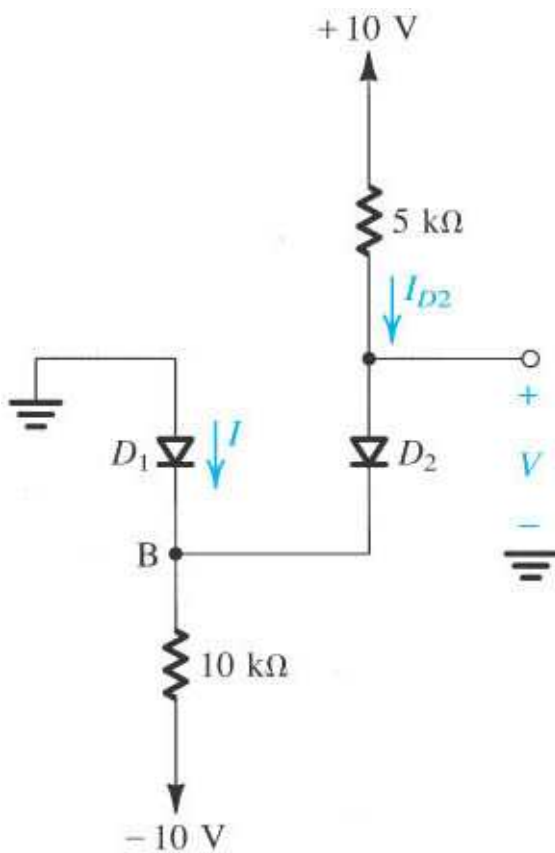
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



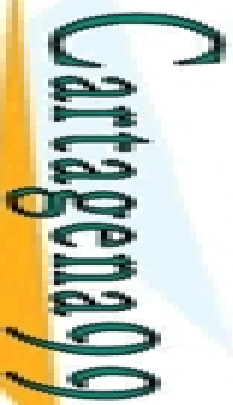
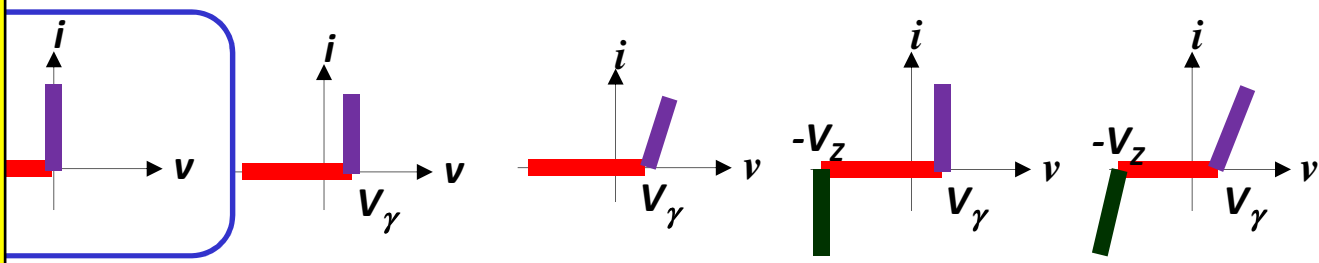
Suponiendo que los diodos de los siguientes circuitos se pueden aproximar por ideales en función de su polarización, encuentre los valores de I y V en cada



(a)



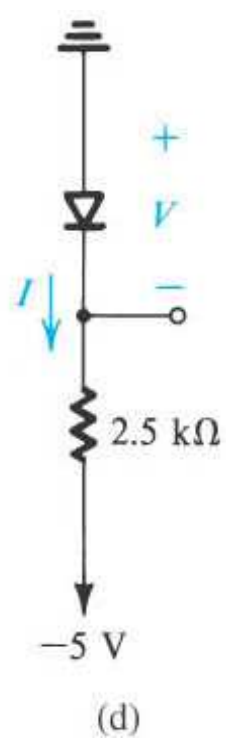
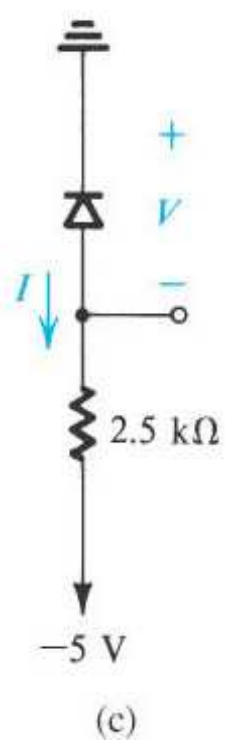
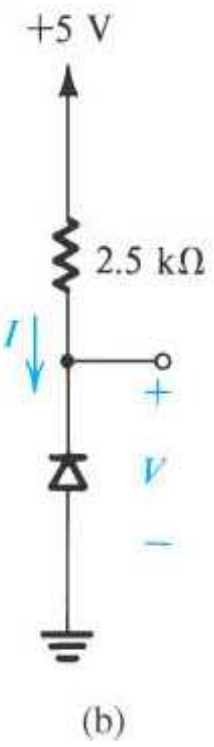
(b)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

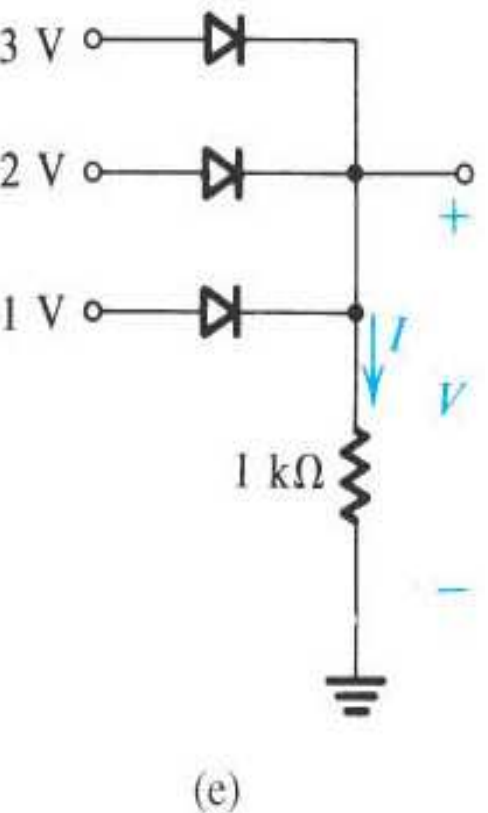
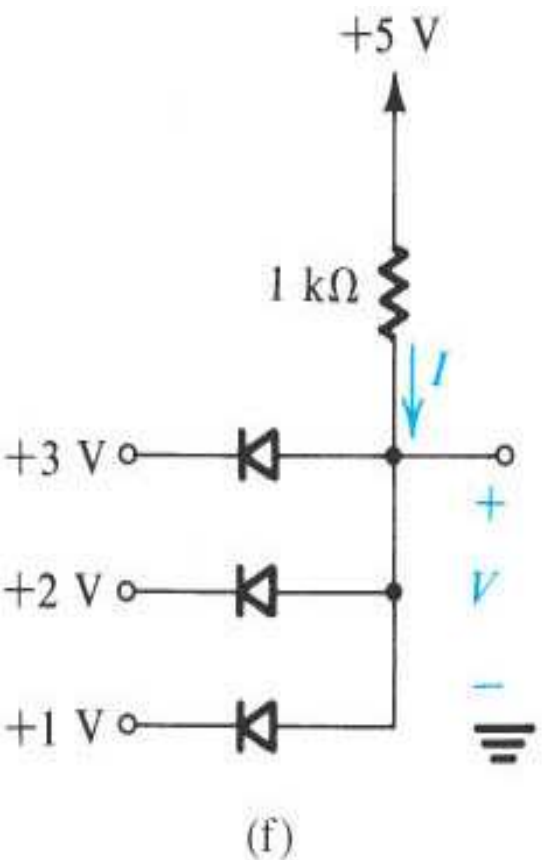
iendo que los diodos de los siguientes circuitos se pueden aproximar por
 ; ideales en función de su polarización, encuentre los valores de I y V en cada



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIÁ WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Suponiendo que los diodos de los siguientes circuitos se pueden aproximar por diodos ideales en función de su polarización, encuentre los valores de I y V en cada



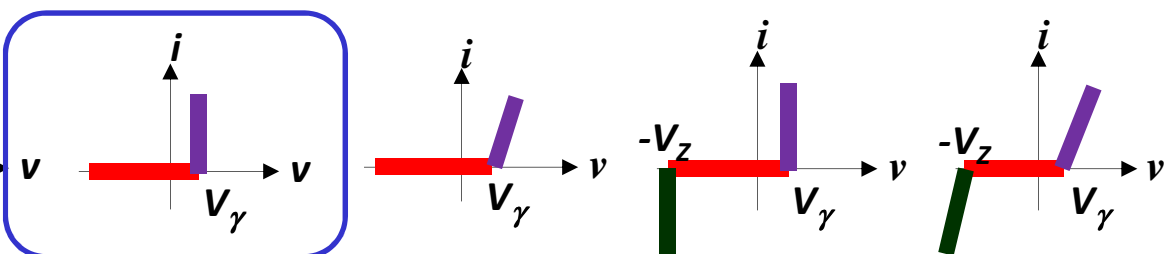
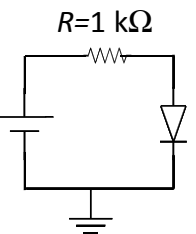
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y gran señal

ircuito de la figura, calcule la corriente que atraviesa el diodo, si se usa un modelo de codo con $V_\gamma = 0,5 \text{ V}$. Represente la solución gráfica.

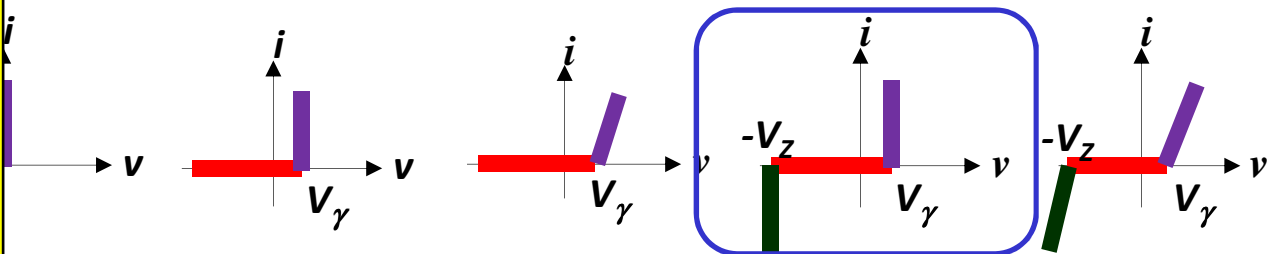
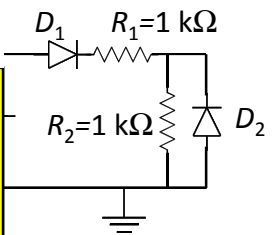


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Modelos en cuasi-estática y gran señal

Para el circuito de la figura, calcule la potencia disipada por cada diodo. Use el modelo de diodo y ruptura, con $V_\gamma(T=300^\circ\text{K})= 0,5 \text{ V}$ y $V_z(T=300^\circ\text{K})=4 \text{ V}$, $dV_\gamma/dT=-2\text{mV}/^\circ\text{K}$ (a 300°K), $dV_z/dT=0$ (a 300°K),



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

ANÁLISIS DE CIRCUITOS EN CUASI-ESTÁTICA



Reemplazar el generador $v_G(t)$ por uno de continua (valor instantáneo).

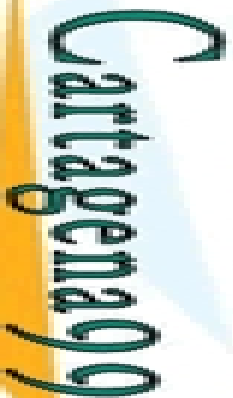
Calcular la función de transferencia $v_O=f(v_G)$

- Resolver circuito de **estática** para todas las hipótesis.
- Calcular rango de valores de v_G para el que **cada hipótesis es cierta**.
- Obtener la **solución** del circuito “enlazando” las soluciones de cada circuito lineal.

Reemplazar la **solución** $v_O(t)=f(v_G(t))$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

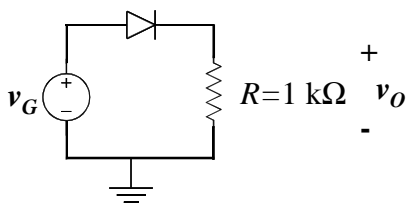
Modelos en cuasi-estática y gran señal



La función de transferencia $v_o=f(v_G)$ en el circuito de la figura si $v_G(t) = 3\text{sen}(2t)$. Para ello,

1. Modelo de diodo en cuasi-estática con $V_\gamma = 0,7$ V.

2. Modelo de diodo en gran señal con $V_\gamma = 0,7$ V y resistencias directa $r_f = 1 \Omega$ y Zener $r_z = 2 \Omega$, con $V_z = 2,8$ V.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

RESUMEN DEL APTO 3.3

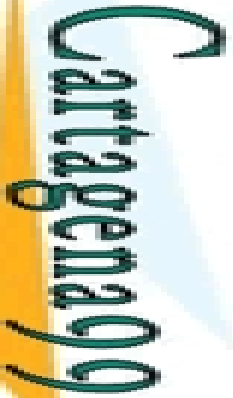
simplificar el análisis con diodos usamos modelos lineales por los diodos.

La elección entre un modelo u otro se basa en un compromiso entre precisión del resultado y complejidad del análisis.

Para resolver un circuito con diodos en continua se ha de plantear una hipótesis sobre el estado del diodo, resolver el circuito, y verificar el cumplimiento de la hipótesis inicial.

Para resolver un circuito con diodos en variación lenta, se ha de resolver el circuito para todas las hipótesis, planteando el rango de valores de la señal de entrada para cada una de ellas.

Algunas aplicaciones de diodos en circuitos electrónicos: regulación de voltajes, rectificación de señales, recorte, fijación de nivel, etc.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Introducción a la Electrónica

dos de unión

1 Introducción

2 Diodos en estática

3 Modelos aproximados en cuasi-estática y gran señal

4 Modelo aproximado en cuasi-estática y pequeña señal

5 Diodos en dinámica

6 Otros diodos

Reforzar los conceptos de polarización y pequeña señal

Analizar la pertinencia y el uso de la aproximación de pequeña señal a partir de la construcción del circuito equivalente del diodo

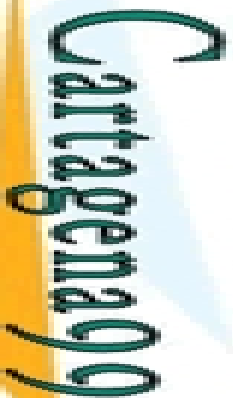
Diseñar algunas aplicaciones sencillas de circuitos con diodos trabajando en frecuencias medias y pequeña señal

... apto. 3.3.8 (5ª edición)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y pequeña señal



el modo de operación del diodo:

Situación **cuasi-estática**

$$\left| v_D(t) \frac{dv_D(t)}{dt} \right| \ll |I_S (e^{v_D(t)/V_T} - 1)| \rightarrow i_D \approx I_S (e^{v_D(t)/V_T} - 1)$$

Se pueden **despreciar** los efectos capacitivos.

Pequeña señal

$$v_D(t) = V_D + v_d(t), \quad i_D(t) = I_D + i_d(t)$$

Se puede **aproximar** el diodo por un dispositivo lineal.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

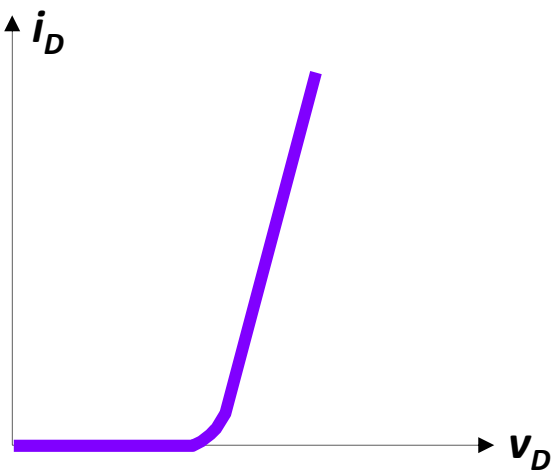
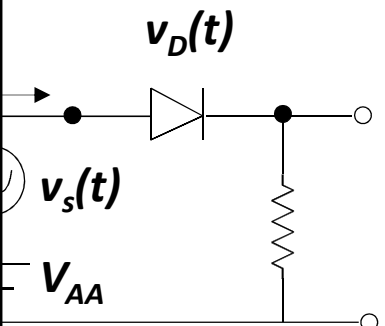
Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

Componente de **polarización** fija el punto de trabajo:

La modula la operación del diodo alrededor del punto de trabajo:

$$v_D = V_D + v_d(t), \quad i_D(t) = I_D + i_d(t)$$

o:



Ecuación de Shockley

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
...
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

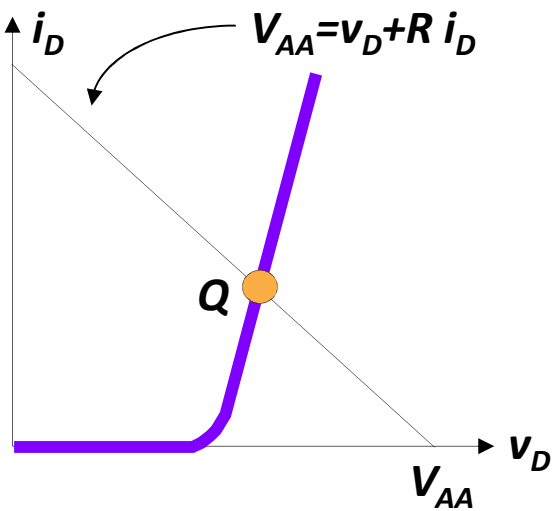
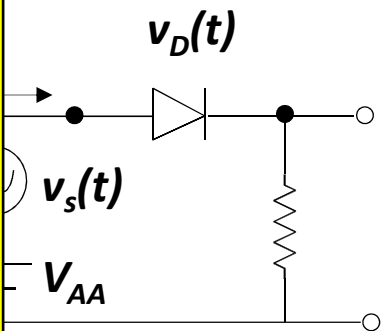
Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

Componente de **polarización** fija el punto de trabajo:

La modula la operación del diodo alrededor del punto de trabajo:

$$v_D = V_D + v_d(t), \quad i_D(t) = I_D + i_d(t)$$

o:



Ecuación de Shockley + recta de carga

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

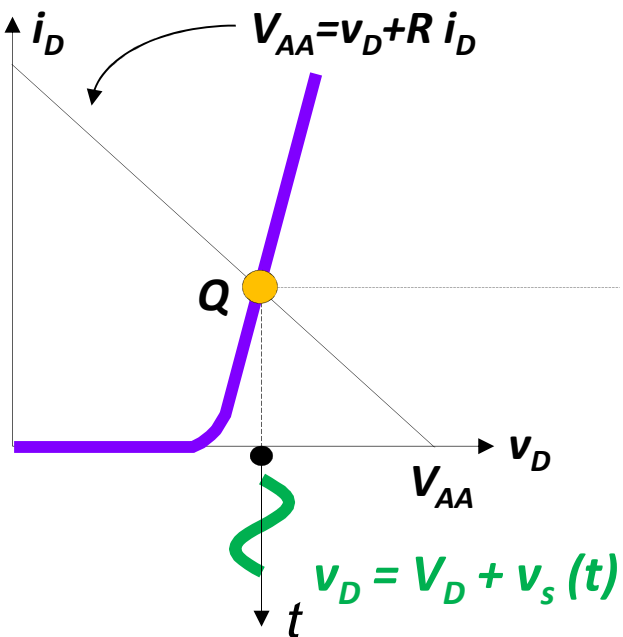
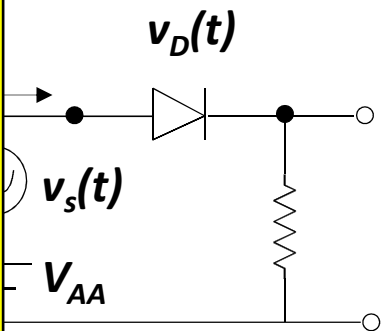
Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

Componente de **polarización** fija el punto de trabajo:

La **señal** modula la operación del diodo alrededor del punto de trabajo:

$$v_D = V_D + v_d(t), \quad i_D(t) = I_D + i_d(t)$$

o:



Modulación del punto de trabajo

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

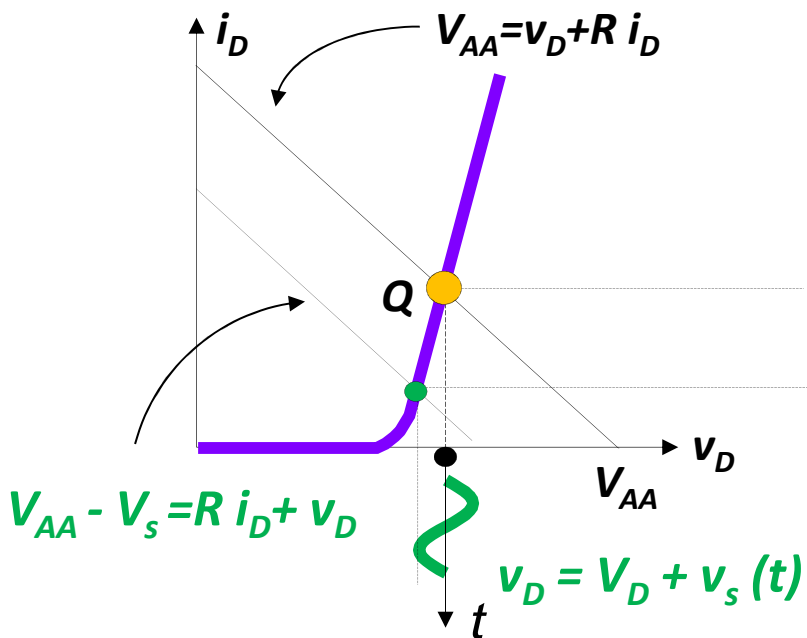
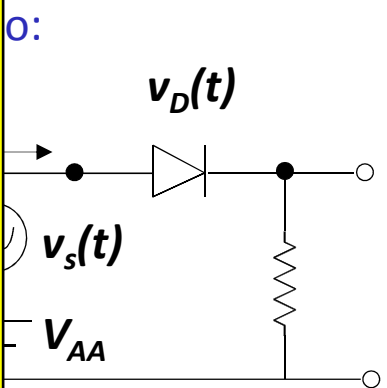
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

Componente de **polarización** fija el punto de trabajo:

señal modula la operación del diodo alrededor del punto de trabajo:

$$v_D = V_D + v_d(t), \quad i_D(t) = I_D + i_d(t)$$



Modulación mínima del punto de trabajo

Cartagena99

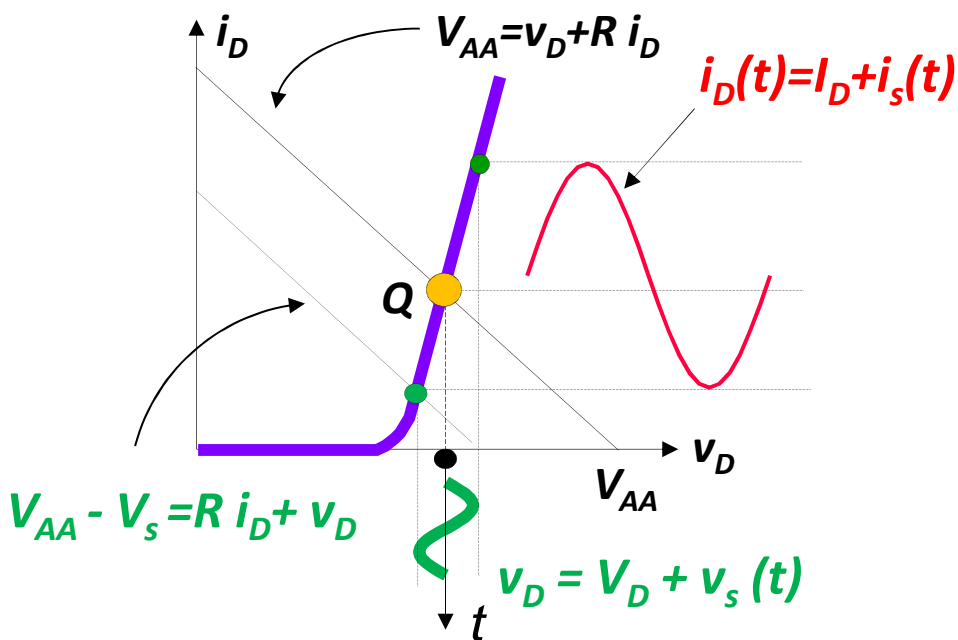
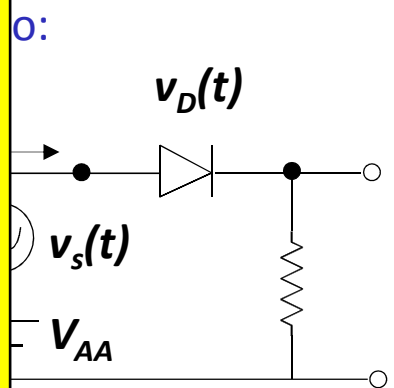
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

Componente de **polarización** fija el punto de trabajo:

señal modula la operación del diodo alrededor del punto de trabajo:

$$v_D = V_D + v_d(t), \quad i_D(t) = I_D + i_d(t)$$



Modulación máxima del punto de trabajo

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

icilmente se puede **aproximar** la operación del diodo por una **función** **rededor** del punto de trabajo.

ollo en serie de Taylor (1^{er} orden):

$$f(x) \approx f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0)$$

$$i_D(v_D) = f(v_D) = i_D(v_D) = I_S(e^{v_D/V_T} - 1) \quad \text{ec. Shockley}$$

es:

$$i_D(v_D) \approx I_D + \underbrace{\left. \frac{di_D}{dv_D} \right|_Q}_{g_d} (v_D - V_D)$$

$$g_d = \frac{1}{r_d}$$

conductancia de pequeña señal del diodo



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

icilmente se puede **aproximar** la operación del diodo por una **función** **rededor** del punto de trabajo.

uyendo la ecuación de Shockley como $f(x)$:

$$\left. \frac{di_D}{dv_D} \right|_Q = \frac{d}{dv_D} [I_S(e^{v_D/V_T} - 1)]_Q = I_S \frac{1}{V_T} e^{V_D/V_T}$$

$$= I_S e^{V_D/V_T} - I_S$$

ces:

$$= \frac{I_D + I_S}{V_T}$$

$$r_d(I_D) = \frac{V_T}{I_D + I_S}$$

nto:

$$\approx I_D + g_d(v_D - V_D) \longrightarrow i_D - I_D \approx g_d(v_D - V_D)$$



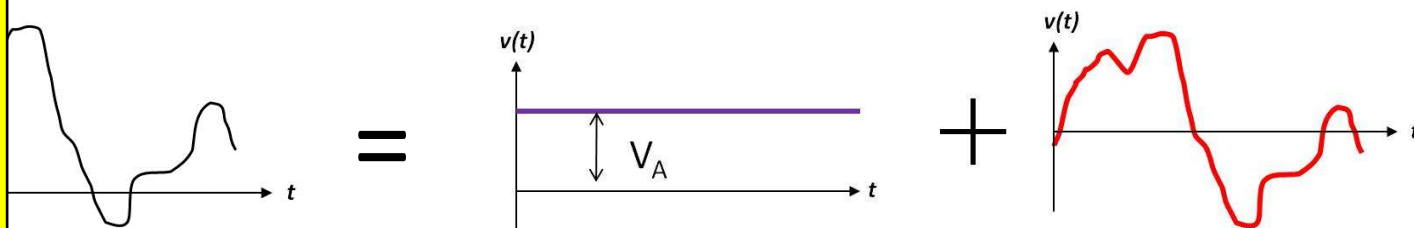
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

icilmente se puede **aproximar** la operación del diodo por una **función** **rededor** del punto de trabajo.

os definido en el primer tema la **señal completa** como **suma** de **ente** de polarización y señal propiamente dicha:

$$v_A(t) = V_A(t) + v_a(t)$$



hera que:

$$I_D \approx g_d(v_D - V_D)$$



$$i_d \approx g_d v_d$$

$$r_d \approx \frac{v_d}{i_d}$$

Relación lineal i-v

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

icilmente se puede **aproximar** la operación del diodo por una **función** **ededor** del punto de trabajo.

de validez de la aproximación lineal:

$$= f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0) + \underbrace{\frac{1}{2} f''(x_0)(x - x_0)^2 + \dots}_{\text{Error cometido a primer orden}}$$

Error cometido a primer orden

eramos una buena aproximación si se cumple:

$$(x_0)(x - x_0)^2 \ll f'(x_0)(x - x_0) \quad \text{despreciando órdenes superiores}$$

stro caso:

$$) = I_D + \left. \frac{di_D}{dv_D} \right|_Q v_a + \frac{1}{2} \left. \frac{d^2 i_D}{dv_D^2} \right|_Q v_a^2 + \dots$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
...
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

icilmente se puede **aproximar** la operación del diodo por una **función** **rededor** del punto de trabajo.

eraremos que se debe cumplir:

$$\left. \frac{d^2 i_D}{d v_D^2} \right|_Q v_d^2 \approx \left| \frac{1}{10} g_d v_d \right|$$

hasta un 10% de distorsión no lineal

$$= \frac{d}{d v_D} \left(\frac{I_S}{V_T} e^{v_D/V_T} \right) \Big|_{v_D=V_D} = \frac{I_S}{V_T^2} e^{V_D/V_T} = \frac{1}{V_T} g_d$$

es:

$$|v_D^2| \approx \frac{1}{10} g_d |v_d|$$



$$|v_d| \approx \frac{V_T}{5}$$

$$|i_d| \approx \frac{V_T}{5 r_d}$$

Condición de pequeña señal



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

icilmente se puede **aproximar** la operación del diodo por una **función** **alrededor** del punto de trabajo.

haremos:

$$V_D) = \frac{V_T}{I_D + I_S} \approx \begin{cases} \infty & \text{En inversa } (I_D = -I_S) \\ \frac{V_T}{I_D} & \text{En directa } (I_D \gg -I_S) \end{cases}$$

pequeña señal:

Modelos lineales por tramos – aproximación global

Modelo lineal alrededor de pto. de trabajo – aproximación local



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
...
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

ANÁLISIS DE CIRCUITOS EN CUASI-ESTÁTICA Y PEQUEÑA SEÑAL

de la polarización y del punto de trabajo de cada diodo

- En el circuito original se **anulan** los **generadores independientes de pequeña señal**.

generador de tensión $v_g = 0 \rightarrow$ **cortocircuito**

generador de corriente $i_g = 0 \rightarrow$ **circuito abierto**

- **Resolver el circuito de estática** utilizando modelos lineales por tramos (gran señal), calculando I_D , V_D para cada diodo.

de la pequeña señal

- En el circuito original se **anulan** los **generadores independientes de continua**, quedando los de pequeña señal.

generador de tensión $V_G = 0 \rightarrow$ **cortocircuito**

generador de corriente $I_G = 0 \rightarrow$ **circuito abierto**

- **Calcular** los valores $r_d(I_D)$ para cada diodo.
- **Sustituir cada diodo por su resistencia equivalente** de pequeña señal.
- Resolver el circuito de pequeña señal calculando i_d , v_d .

de la solución final:

$$v_D(t) = V_D + v_d(t), \quad i_D(t) = I_D + i_d(t)$$

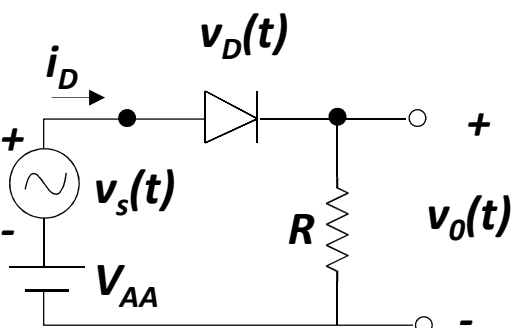


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

Calcular $v_D(t)$ y $i_D(t)$ en el circuito de la figura, utilizando un modelo lineal nos para el diodo trabajando en estática, con los siguientes parámetros:



5 V.
20 mV.
10 V

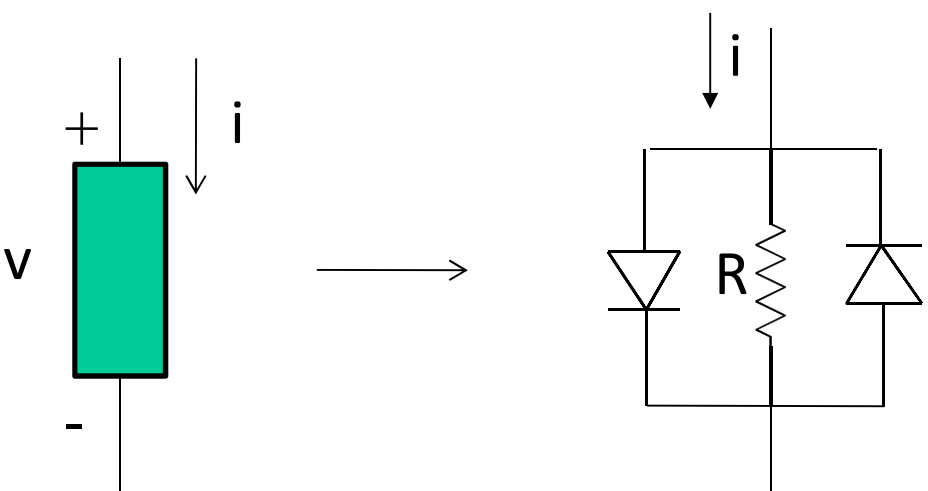
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

Para el componente de la figura, donde $R = 1\text{ k}\Omega$, $V_T = 25\text{ mV}$ y $V_y = 700\text{ mV}$. El componente actúa como una resistencia de tensión limitada. Obtenga: la tensión límite utilizando un modelo lineal por tramos con tensión de codo. Característica I-V del componente.

Considerando la aproximación del modelo de Shockley con $I_s = 2,1\text{ pA}$, calcule la resistencia equivalente R_{eq} del componente en pequeña señal para un punto de trabajo $V_Q = 580\text{ mV}$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

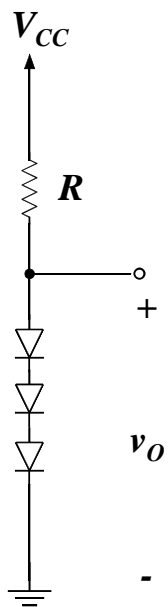
Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

Determine el circuito de la figura, en el que se usan tres diodos en serie, con $V_{\gamma} = 0,7 \text{ V}$, para una regulación de alrededor de 2,1 V.

Suponiendo que al valor de la fuente de alimentación se superpone una senoide de 50 mV p-pico (V_{pico} (imperfección de la fuente conocida como *rizado de fuente*), calcule el porcentaje de variación del voltaje regulado v_o .

Realice un cálculo similar para el caso en que se conecte una resistencia de carga de 1 k Ω .

$$V_{CC} = 10 \text{ V}; R = 1 \text{ k}\Omega; V_T = 0,025 \text{ V}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

RESUMEN DEL APTO. 3.4

Señales variables pequeñas ($v_d \ll V_T$), se puede descomponer el análisis de un circuito con diodos en dos partes:

Análisis del circuito de polarización, eliminando las señales variables, con el modelo de estática y gran señal

Análisis del circuito equivalente de pequeña señal, eliminando las señales continuas y sustituyendo el diodo por una resistencia incremental (cuyo valor depende del punto de trabajo)

La aproximación de pequeña señal se basa en equiparar la curva característica del diodo, en un pequeño margen, a una recta tangente a la curva en el punto de trabajo

The logo for Cartagena99 features the word "Cartagena99" in a stylized, green, cursive font. The text is positioned above a graphic element consisting of a blue and orange arrow-like shape pointing downwards.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Introducción a la Electrónica

dos de unión

1 Introducción

2 Diodos en estática

3 Modelos aproximados en cuasi-estática y gran señal

4 Modelo aproximado en cuasi-estática y pequeña señal

5 Diodos en dinámica

6 Otros diodos

Conocer el régimen de funcionamiento en dinámica

Conocer el origen de las capacidades internas del diodo

Conocer los modelos del diodo en dinámica, para gran señal y pequeña

apto. 3.7.3 y 3.7.5 (5ª Edición)

The logo for Cartagena99 features the word "Cartagena99" in a stylized, green, cursive font. The text is positioned above a graphic element consisting of a blue and orange arrow-like shape pointing downwards.

--

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos en dinámica

régimen de funcionamiento en el que la rápida variación de las señales desprecia los efectos capacitivos asociados a los dispositivos

Situación **dinámica**

$$i_D(v_D(t)) \frac{dv_D(t)}{dt} \sim I_S (e^{v_D(t)/V_T} - 1)$$

no mantienen las dependencias temporales
los efectos capacitivos no despreciables

$$I_S (e^{v_D(t)/V_T} - 1) + C_D (v_D) \frac{dv_D}{dt}$$

no existe curva característica

The logo for Cartagena99, featuring the word 'Cartagena99' in a stylized, green, cursive font. The text is set against a background of a blue and orange abstract shape that resembles a stylized 'C' or a map outline.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos en dinámica

régimen de funcionamiento en el que la rápida variación de las señales apreciar los efectos capacitivos asociados a los dispositivos

Capacidad del diodo tiene dos componentes:

$$C(v_D) = C_d(v_D) + C_j(v_D)$$

C_j ≡ Capacidad de unión / deplexión

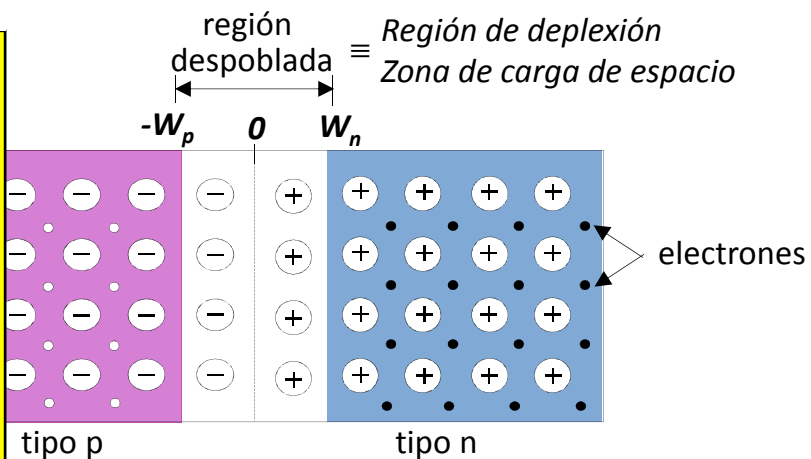
C_d ≡ Capacidad de difusión

The logo for Cartagena99, featuring the word 'Cartagena99' in a stylized, green, cursive font. The text is set against a background of a blue and orange gradient that resembles a stylized map of the city of Cartagena.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos en dinámica

Capacidad de unión / deplexión



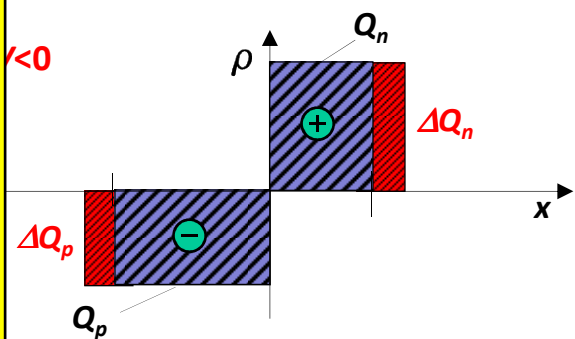
$$Q_p = ew_p N_A A = Q_n = ew_n N_D A$$

$$Q_j = e \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} w_{dep} A,$$

$$\text{con } w_{dep} = w_p + w_n$$

Al variar el voltaje aplicado a la unión, varía la carga almacenada en la zona de deplexión
 \Rightarrow efecto capacitivo

$$w_{dep} = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{e} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (V_{j0} - V)}$$



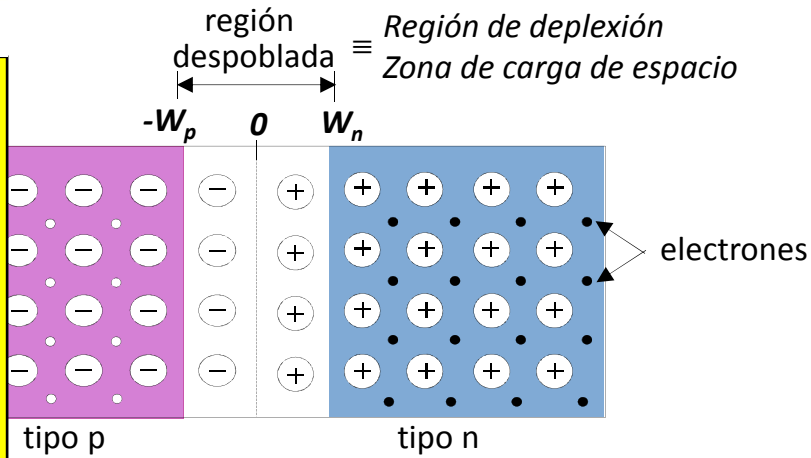
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diodos en dinámica

Capacidad de unión / deplexión



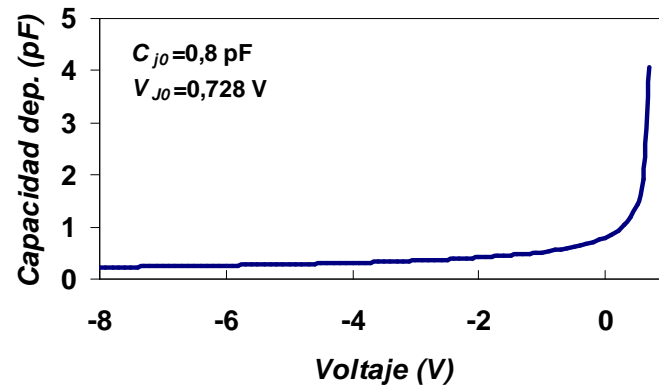
$$Q_p = ew_p N_A A = Q_n = ew_n N_D A$$

$$Q_J = e \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} w_{dep} A,$$

$$\text{con } w_{dep} = w_p + w_n$$

Capacidad de deplexión: dependiente del voltaje

$$C_J = \frac{\epsilon_s A}{w_{dep}} = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - \frac{V}{V_{J0}}}}$$



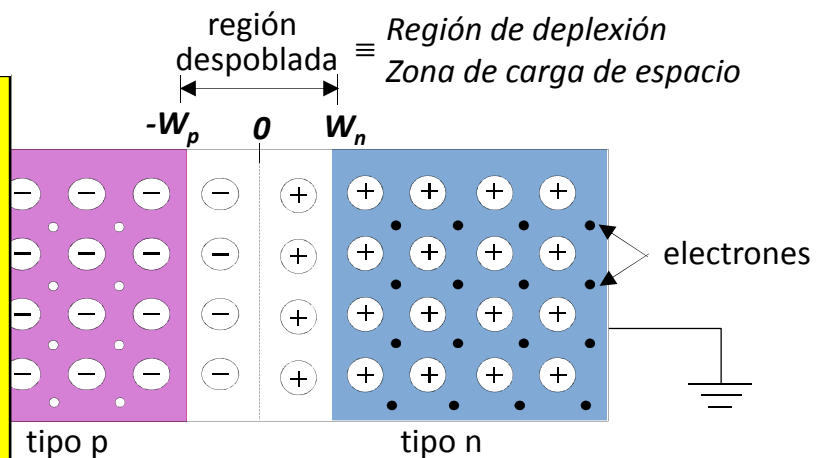
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

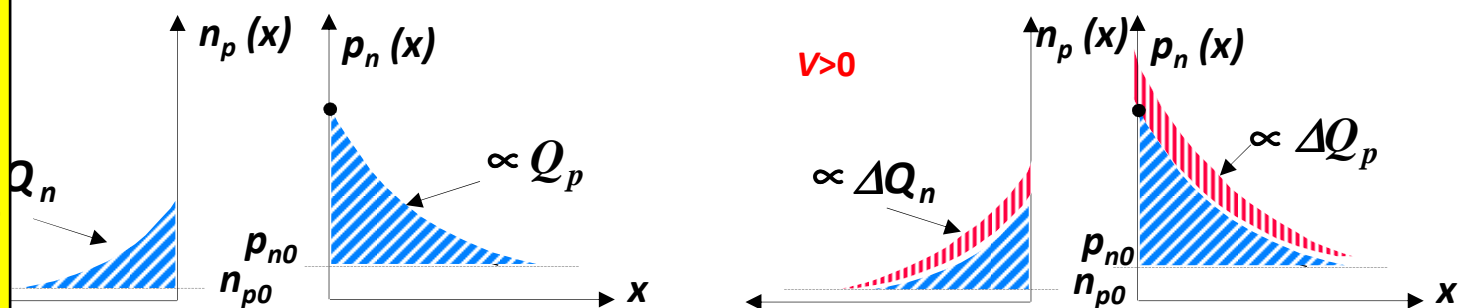
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diodos en dinámica

≡ Capacidad de difusión



Carga asociada al exceso de minoritarios en las regiones p y n, a ambos lados de la zona de deplexión \Rightarrow efecto capacitivo



$$C_d = B \exp\left(\frac{V_d}{V_T}\right)$$

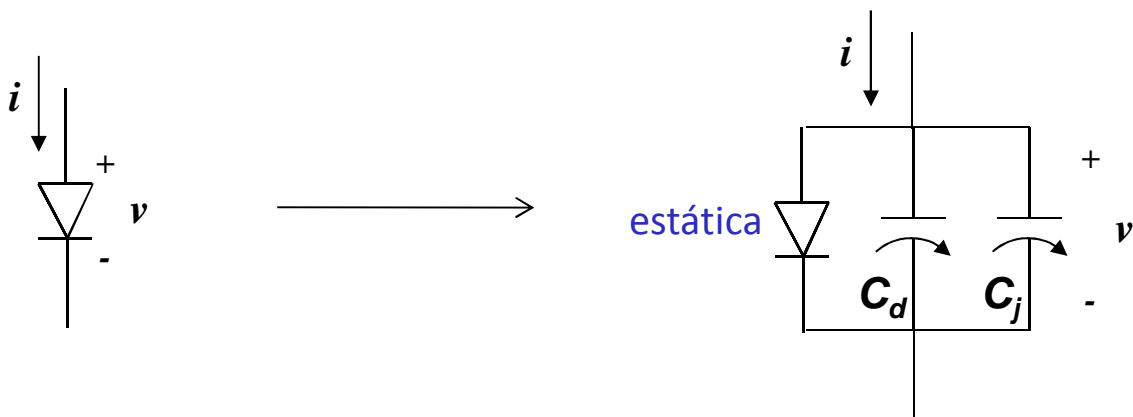
Cartagena99

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

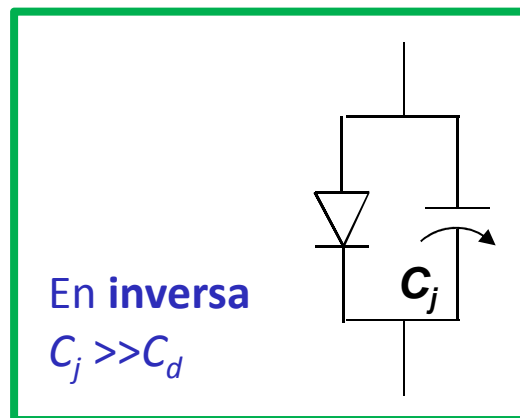
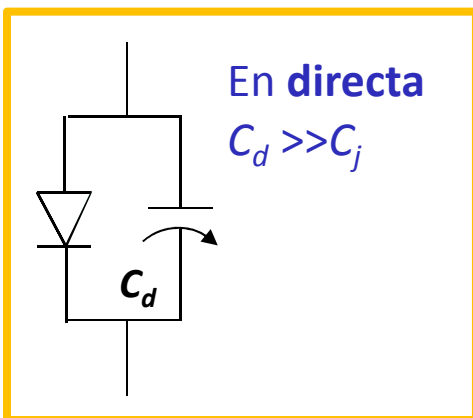
Diodos en dinámica

do las capacidades asociadas al funcionamiento en **dinámica y**
ñal:

$$i(t) = I_s \left[\exp\left(\frac{v(t)}{V_T}\right) - 1 \right] + C_j(v(t)) \frac{dv(t)}{dt} + C_d(v(t)) \frac{dv(t)}{dt}$$



, según el estado del diodo, se cumple:



$$C_d \gg C_j$$

$$C_j \gg C_d$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diodos en dinámica

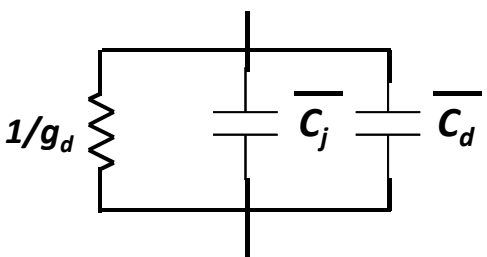
do las capacidades asociadas al funcionamiento en **dinámica** y **señal**:

$$\frac{dv_D}{dt} = \frac{d(V_D + v_d)}{dt} = \frac{dv_d}{dt}$$

le entonces la relación lineal:

$$i_d = g_d(I_D)v_D + C(V_D) \frac{dv_d}{dt}$$

equivalente:



$\left. \begin{array}{l} \bar{C}_j \\ \bar{C}_d \end{array} \right\}$

Valores medios alrededor del punto de trabajo

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
...
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

2011

Un diodo en dinámica se puede modelar como un diodo D en cuasi-estática en paralelo con C , que en primera aproximación se puede considerar de valor constante. Ese modelo es el usado en el circuito de conmutación de la Figura 4.1, en el que, cuando se aplica en $t=0$ un voltaje como el de la Figura 4.2, la corriente i_o cambia con el tiempo según lo indicado en la Figura 4.3:

la corriente $I_{O1} = i_o(t < 0)$ y la tensión V_{AB} para $t < 0$ (0,5 p.)

la corriente $I_{O2} = i_o(t = 0^+)$ (0,5 p.)

el tiempo t_s durante el cual el diodo permanece polarizado en ON (1,5 p.)

0,5 p. Aproximación lineal por tramos para el diodo con $V_f = 0,7 \text{ V}$; $r_f = 10 \Omega$; $R = 1 \text{ k}\Omega$;

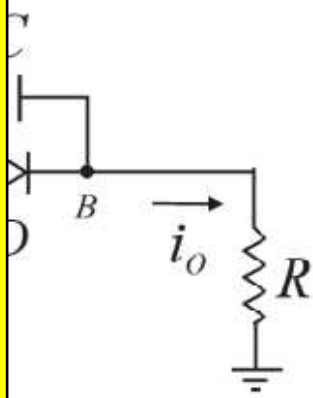


Figura 4.1

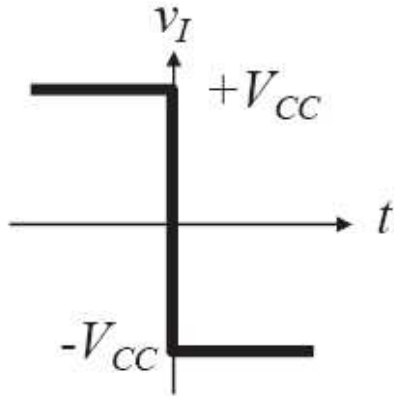


Figura 4.2

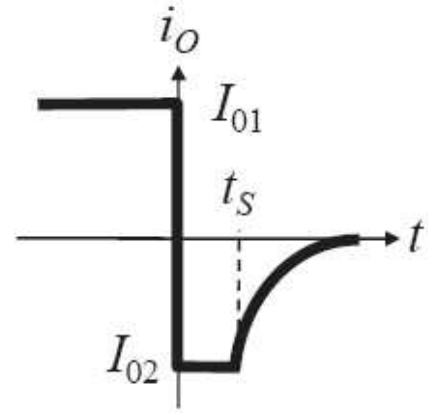


Figura 4.3

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

RESUMEN DEL APTO. 3.5

**régimen de funcionamiento en dinámica se hacen sentir efectos
tivos internos a los dispositivos electrónicos**

**capacidad de deplexión del diodo se debe a la carga almacenada en la
de deplexión. Domina en el funcionamiento en inversa**

**capacidad de difusión del diodo se debe al exceso de minoritarios
ados a ambos lados de la zona de deplexión. Domina en el
namiento en directa**

**ueden analizar circuitos con diodos en dinámica a partir de circuitos
alentes en los que aproximamos las capacidades internas,
dientes del voltaje, por valores medios alrededor del punto de
o.**

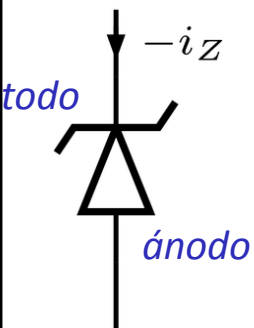


**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Otros diodos

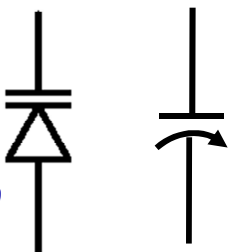
iodos específicamente diseñados para realizar tareas específicas.

Zener:



- Trabaja en disrupción.
- Proporciona una tensión de referencia V_z .

varactor (varicap):



- Condensador variable.
- C_D controlado por tensión de polarización.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
...
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

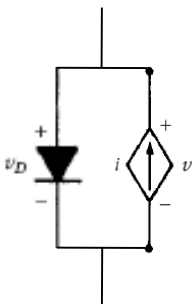
Otros diodos

diodos específicamente diseñados para realizar tareas específicas.

Schottky:

- Contacto metal-semiconductor rectificante
- Suelen presentar tensiones de codo V_γ menores
- Dispositivo controlado por mayoritarios (rápido).

odo:



- Sensibles a la luz (superficie descubierta).
- Generan una fotocorriente proporcional a intensidad de iluminación.
- Se suelen utilizar como receptores de comunicación óptica operando en inversa.

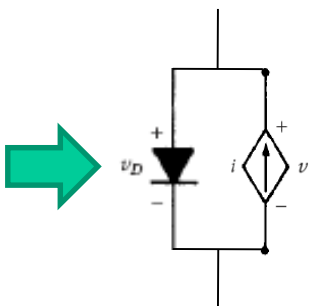
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Otros diodos

iodos específicamente diseñados para realizar tareas específicas.

solar:



- Sensibles a la luz (superficie descubierta).
- Generan una fotocorriente proporcional a intensidad de iluminación.
- Operan en directa, generando potencia.

s emisores de luz (LEDs):

- Operando en ON emite luz monocromática, que puede ser coherente (laser).
- La intensidad de la luz emitida es proporcional a la corriente que se inyecta en el componente.
- Emisión por recombinación radiativa de electrones y huecos.
- LED + fotodiodo = optoaislador

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

lo que la característica $I-V$ de los diodos Zener Z_1 y Z_2 es la representada en la que la característica $I-V$ del diodo D_1 es la de la figura 2.20, se pide, para el figura 2.21:

calcule I_{D1} y V_{D1}

siendo que el diodo Z_1 está ON, deduzca el estado de Z_2

calcule I_{Z2}

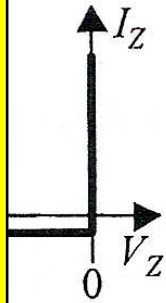


Figura 2.19

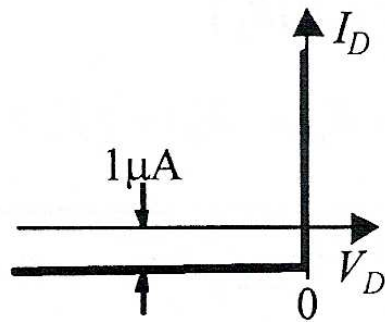


Figura 2.20

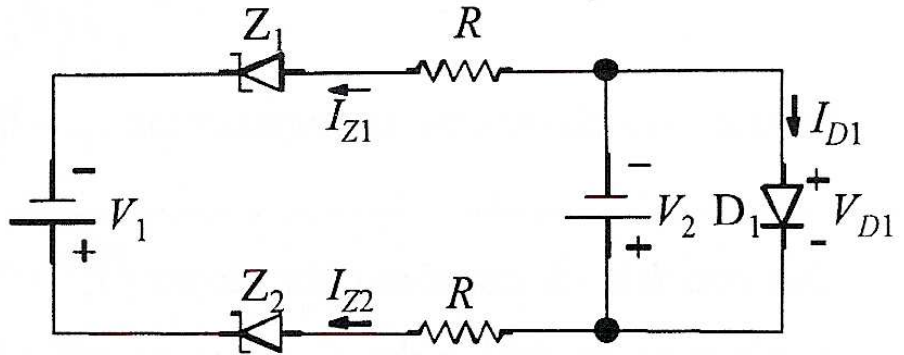


Figura 2.21

$R = 1,1 \text{ M}\Omega$; $V_1 = 20 \text{ V}$; $V_2 = 8 \text{ V}$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

a una determinada aplicación se desea utilizar como generador de energía eléctrica la ar que muestra la figura 2.30. Para ciertas condiciones de temperatura y radiación solar (suma que serán similares a las de operación real), la célula puede modelarse como un : de corriente en paralelo con un diodo aproximado por un modelo lineal por tramos, o muestra la figura 2.31. La característica $I-V$ como componente de dos terminales de iene el aspecto de la figura 2.32. Para las condiciones mencionadas, se pide:

La corriente en el punto A de la figura 2.32, que es la que produce la célula cuando se cortocircuitan sus terminales ($V = 0$). Indique el estado en que opera el diodo en dicho punto A.

La tensión en el punto B de la figura 2.32, que es la que aparece en bornas de la célula cuando se deja en circuito abierto ($I = 0$). Indique el estado en que opera el diodo en dicho punto B.

La potencia máxima que puede generar la célula, que se obtiene cuando trabaja en el punto C de la figura 2.32.

La resistencia de carga que habría que poner en los terminales de la célula para que operase en el punto C de la figura 2.32.

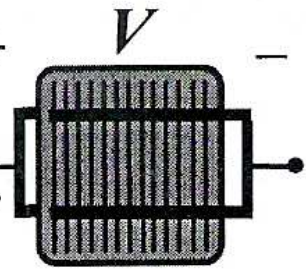


Figura 2.30

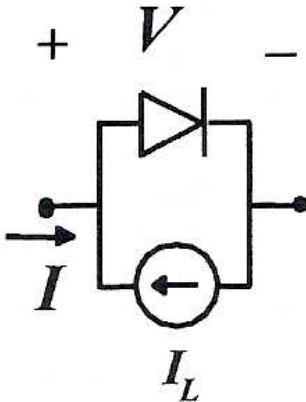


Figura 2.31

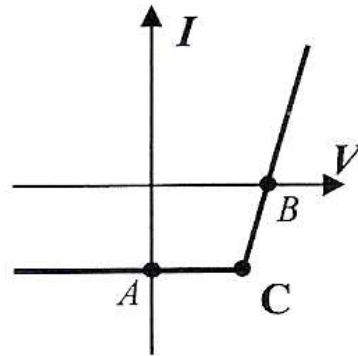


Figura 2.32

Modelo lineal por tramos del diodo: $V_g = 0,5 \text{ V}$; $r_f = 0,1 \Omega$.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

...

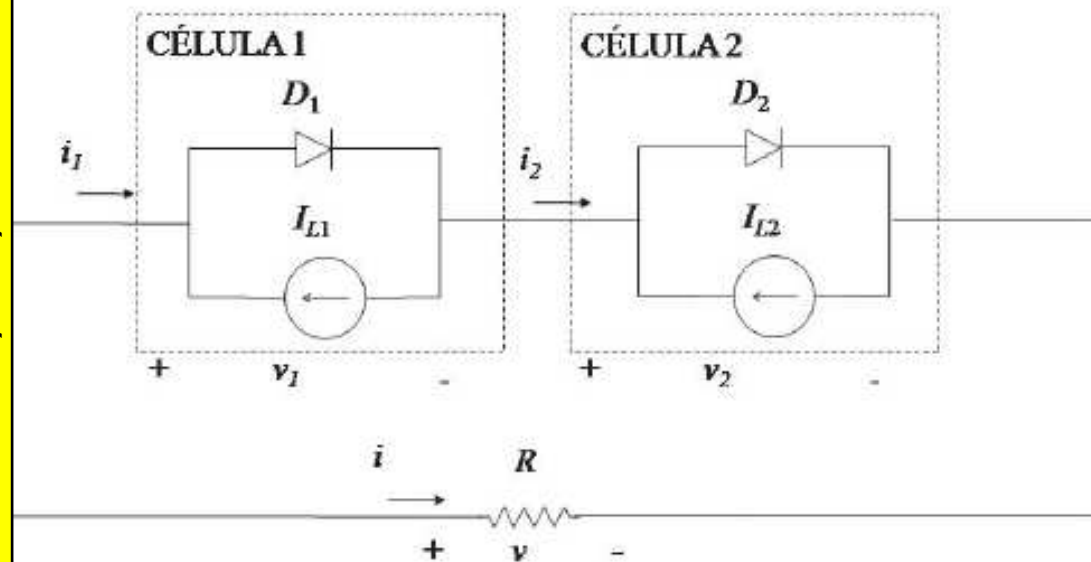
Problema 1. Se conectan dos células solares iguales en serie y alimentan a una resistencia R , siendo el modelo equivalente del conjunto el representado en la Figura 1.

Calcule el valor de la corriente i cuando $R = 0$ (corriente de cortocircuito, I_{SC}) y de la tensión v cuando $R \rightarrow \infty$ (tensión de circuito abierto, V_{OC}) del generador fotovoltaico formado por las dos células cuando la irradiancia que reciben ambas es $G = 0,1 \text{ W/cm}^2$, justificando el estado en el que se encuentran los diodos en cada caso (1 p.)

Después de un tiempo se produce un sombreado parcial de la célula 1, de forma que su área iluminada se reduce a la mitad, permaneciendo la otra mitad en oscuridad. La iluminación de la célula 2 no sufre variación, y la irradiancia se mantiene estable en $G = 0,1 \text{ W/cm}^2$.

Calcule el nuevo valor de la corriente de cortocircuito del generador ($i = I'_{SC}$ cuando $R = 0$), justificando el estado en el que se encuentran los diodos del circuito equivalente (1 p.)

Justifique si en estas circunstancias la célula 1 está entregando o disipando potencia, indicando el valor de la potencia en la misma (0,5 p.)



DATOS.

Modelo lineal por tramos de los diodos:
 $V_\gamma = 0,6 \text{ V}$, $r_F = 0,01 \Omega$

$A = 220 \text{ cm}^2$
 $S = 0,3 \text{ A/W}$

Figura 1

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

CONCEPTOS CLAVE DEL TEMA 3

Modos del diodo: directa, inversa y interrupción

Estática y dinámica, gran señal y pequeña señal

Resolución de modelos aproximados por tramos para el análisis en estática de circuitos con diodos

Resolución de circuitos en estática por el “método analítico” (resolución de hipótesis del estado del dispositivo, resolución y verificación de hipótesis)

Aproximación de pequeña señal



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70